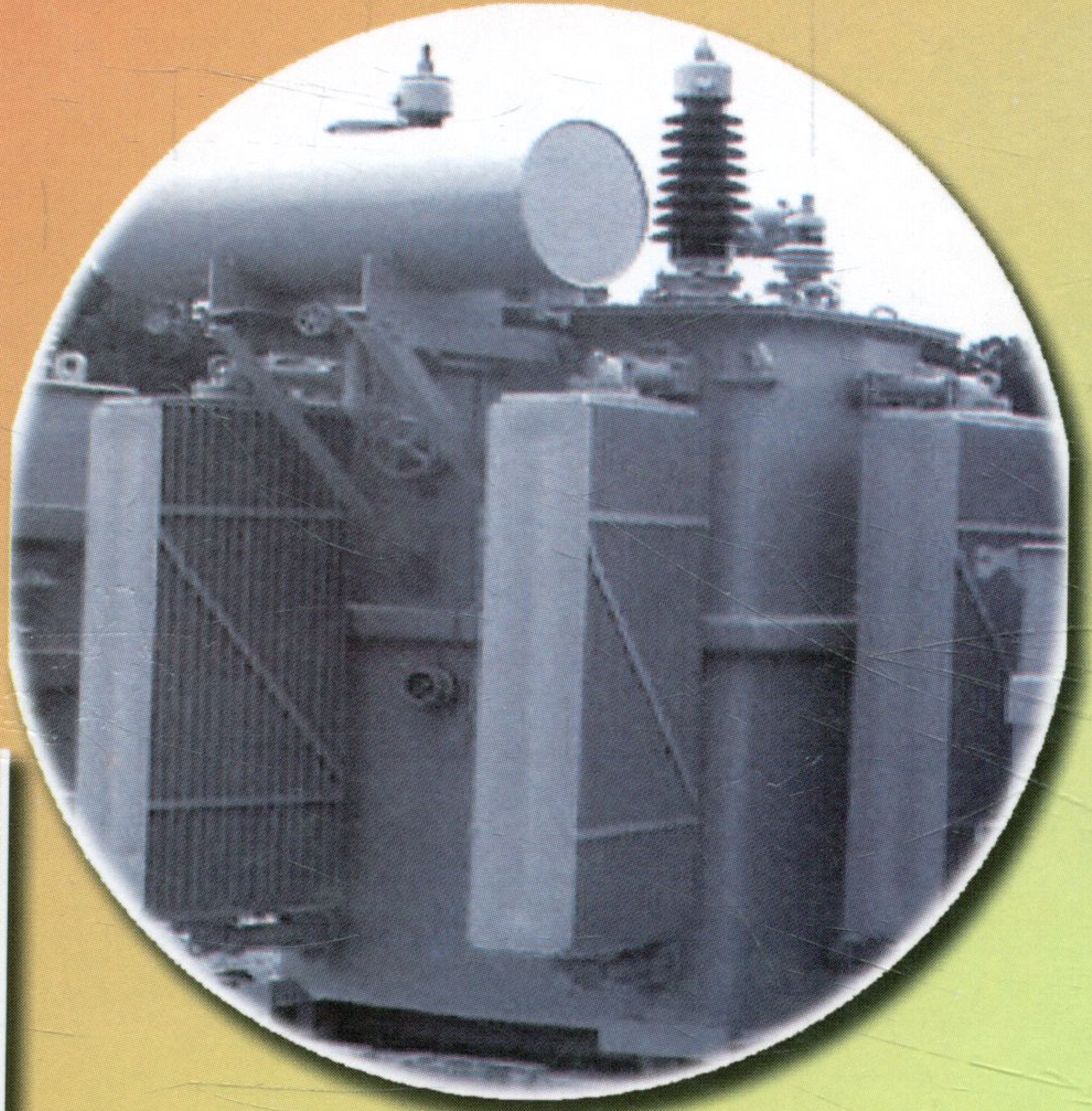
المحولات

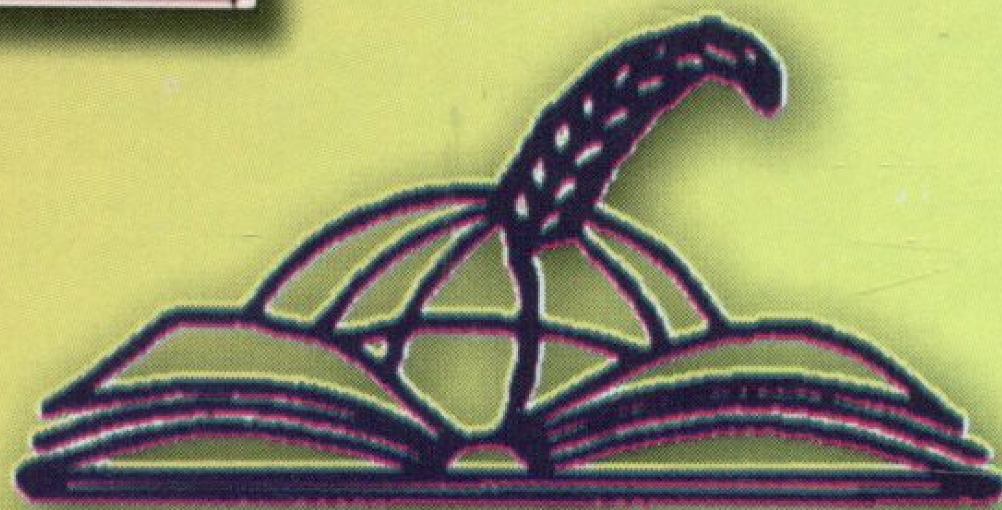
والدوائر المغناطيسية





إعداد

د.م / خيري فتحي عبد السيد



الدار العالمية

للنشر والتوزيع

المحـولات

والدوائـر المغنـاطيسية

المحــولات

والدوائـر المغناطيسية

إعـــداد

د. مهندس / خيري فتحي عبد السيد

2014



الـــدار العالميـة
للنشـــر والتـــوزيـع

رقم الإيداع

19720 / . .. ..

977-440-116-8

الطبعة الأولى

2014م

عبد السيد ، خيري فتحي .

المحولات والدوائر المغناطيسية / خيري فتحي عبد السيد –

ط1 – الدار العالمية للنشر والتوزيع ، 2014

390 ص، 24سم .

تدمك : 8-116-440-977

الدار العالمية للنشر والتوزيع

111 شارع الملك فيصل – الهرم

ص. ب : 262 الهرم – ج.م.ع

ت : 37446438 – 37446324

ف : 37719899- 202

daralamiya@hotmail.com

المقـــدمة

الحمد لله والصلاة والسلام علي رسول الله ، وبعد

تعد المحولات من أكثر الآلات الكهربائية كفاءةً . تتنوع أحجام المحولات من صورة مصغره الحجم داخل مرحلة الميكروفون إلى وحدات ضخمة تزن مئات الأطنان والمستخدمة في ربط أجزاء من شبكات الكهرباء. تعمل جميعها بنفس المبادئ ونظرية العمل ، على الرغم من تنوع النماذج و التصميمات الموجودة لأداء دورها المتخصص في تطبيقات المنزل والصناعة.

المحولات تعتبر أساسية لنقل الطاقة الكهربائية في صورة جهد عال، مما يجعل من النقل لمسافات طويلة ميزة اقتصادية من الناحية العملية.

يتناول الكتاب المحولات الكهربائية بوصفها آلة مهمة للغاية ولها الكثير من التطبيقات العملية. وروعي في هذا الكتاب التركيز علي الجانب العملي ويتناول المحولات الكهربائية بأنواعها واستخداماتها وطرق الاختبارات والصيانة لها.

هذا الكتاب عمل مرجعي يشمل تصميم وبناء وتركيب ، وتشخيص الأعطال وصيانة محولات الكهرباء في توليد ونقل وتوزيع الكهرباء والمحطات الفرعية ، والتطبيقات الصناعية. النطاق الواسع لكتاب المحولات والتركيز العملي يجعله مثالي للقراءة للمهندسين والعاملين بالتصميم ، وطلاب الهندسة الكهربائية ، وجمهور أوسع في هندسة الطاقة والمحولات وقطاعات تصنيع المحولات. بيد أنه ليس من نص يقرأ لمرة واحدة ويوضع على الرف ، بل يعتبر مرجع للمخضرم مهنيا فضلا عن المبتدئ.

وتشمل هذه الطبعة من الأقسام الجديدة والتحديثات ، أحدث المواصفات القياسية الخاصة باللجنة الكهربائية التقنية الدولية (IEC) والمعايير الأوروبية. المواد جديدة تشمل تغطية للتطورات الأخيرة في الفولاذ غير المتبلور amorphous steels ، وتوسيع نطاق التغطية لمحولات التوزيع الصغيرة.

* مرجع لجميع المشاركين في تصميم وتركيب ومراقبة والحفاظ على الجهد العالي باستخدام نظم محولات الكهرباء (توليد الطاقة الكهربائية وقطاع التوزيع ؛ على نطاق واسع من التطبيقات الصناعية)

* مرجع كلاسيكي للعمل على محولات الكهرباء وتطبيقاتها ، حقا انه نهج عملي لتصميم ورصد وصيانة محولات الكهرباء في توليد الكهرباء ، والمحطات الفرعية ، والتطبيقات الصناعية.

الحفاظ على نظم القوي الكهربائية المناسبة والمعدات اللازمة ضروري لدعم موثوقية ، وتوافر ، وجودة الخدمة من الأهداف المطلوبة لمستهلكي الطاقة الآن وفي المستقبل. ولكن ، المواهب في المحولات نادرة اليوم ، و جوانب صناعة الطاقة تعاني من تناقص العرض من المهندسين ذوي الخبرة والمعرفة. الآن في الكتابة عن المحولات لا تزال تجتاز اختبار الزمن كعنصر رئيسي من مجموعة من المواد المرجعية للطلاب والمهندسين ، وجميع المهن التي تشارك في العمليات الهندسية المرتبطة بنقل القدرة ، وخاصة مع التصميم والتصنيع والاختبار للمحول ، والمشتريات ، وتطبيق وتشغيل وصيانة ، وتقييم الأوضاع وتمديد الحياة.

نرجو من الله العلي القدير أن ينفع به امتنا وان يوفقنا لما يحبه ويرضاه ، انه سميع قريب مجيب الدعاء .

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

المؤلف

الفصـل الأول

المحولات الكهربائية

الفصل الأول

المحولات الكهربية

تعريف المحول:

هو معدة ساكنة لا تحتوى على أي أجزاء متحركة تـستخدم لنقـل القـدرة الكهربية من جهة إلى جهة أخري وذلك بتغيير قيم مكونات هذه القـدرة (الجهـد والتيار) مع المحافظة على التردد. وعادة يسمي الملف المتصل بمـصدر الجهـد بالملف الابتدائي كما يسمي الملف المتصل بالحمل بالملف الثانوي.

وهو جهاز كهرومغناطيسي ليست به أجزاء متحركة (ساكن) يحول التيار المتغير ذو الضغط المنخفض إلى تيار متغير ذو ضـغط عـالي وبـنفس التـردد وبالعكس.

والمحول هو جهاز نقل الطاقة الكهربائية من دائرة إلى آخري عن طريـق الدائرة بالحث إلى جانب الموصلات الكهربائية. متغير التيار في الـدائرة الأولـى (الأساسية) يخلق تغيير المجال المغناطيسي ؛ وهذا بـدوره يـؤدي إلـى مجـال مغناطيسي متغير الجهد في الدائرة الثانوية. عند تحميل الدوائر الثانوية ، يمكن أن يتدفق التيار في المحول ، وهكذا يتم نقـل الطاقـة مـن دائـرة إلـى أخـرى. في المحول المثالي ، الجهد الثانوي المتولد بالحث ، يتناسب مع الجهد في الملـف الابتدائي ، بعامل مساو لنسبة التحويل في كل اللفات :

عن طريق الانتقاء المناسب لنسبة التحويل، ومن ثم يسمح محـول الجهـد بالتناوب إلى محول رفع عن طريق جعل عدد لفات الثانوي أكثر من عدد لفـات الابتدائي – أو محول خفض ، عن طريق جعلها اقل من ذلك.

تعد المحولات من أكثر الآلات الكهربائية كفاءةً، مع بعض الوحدات الكبيرة تكون قادرة على نقل 99,75 ٪ من القدرة الداخلة لها إلي الخرج. تتنوع أحجـام المحولات من صورة مصغره الحجم داخل مرحلة الميكروفون إلى وحدات ضخمة

تزن مئات الأطنان والمستخدمة في ربط أجزاء مـــن شــبكات الكهربـــاء. تعمــل جميعها بنفس المبادئ ونظرية العمل ، على الرغم من تنوع النماذج و التصميمات الموجودة لأداء دورها المتخصص في تطبيقات المنزل والصناعة.

تطبيقات و استخدامات المحولات

التطبيق الرئيسي للمحولات هو زيادة الجهد قبل نقـــل الطاقـــة الكهربائيـــة لمسافات طويلة عبر الأسلاك. معظم الموصلات لها مقاومة تؤدي إلى تبديد الطاقة الكهربائية بنسبة تتناسب مع مربع التيار عبر السلك. عن طريق تحويـــل الطاقـــة الكهربائية إلى عالية الجهد (وبالتالي المنخفضة التيار) وخفض الجهد مرة أخـــرى بعد ذلك، تمكن المحولات من تحقيق نقل الطاقة الاقتـــصادي لمـــسافات طويلـــة. ونتيجة لذلك، فقد ساهمت المحولات بشكل كبير في صـــناعة إمـــداد الكهربـــاء، والسماح بإقامة محطات توليد الكهرباء علي مسافة بعيدة مـــن منـــاطق اســـتهلاك الكهرباء (الطلب).

استخدام المحول في نقل القدرة الكهربية

لا يمكن تحقيق الاستعمال الفعال للطاقـــة الكهربائيـــة إلا بواســـطة نقلهـــا لمسافات بعيدة بأقل خسارة ممكنة ويجب لهذا نقل الطاقة تحت جهد عـــالي جـــدا حيث توجد محولات رافعة عند أماكن توليد الطاقة وتنقل الطاقة عبـــر الأســـلاك والأبراج الهوائية إلى أماكن الاستهلاك حيث توجد محولات لخفض القوة الدافعة.

كفاءة النقل ــ هي النسبة بين الطاقة الكهربائية التي تـــصل إلـــى أمـــاكن الاستهلاك والطاقة الكهربية الناتجة في محطات التوليد، تستخدم المحولات لرفـــع أو خفض الجهد أو التيار في الدوائر الكهربائية. تستخدم المحولات لنقـــل القـــدرة الكهربية لمسافات بعيدة من أماكن توليدها إلى أمـــاكن توزيعهـــا واســـتخدامها. و تستخدم المحولات مع أجهزة القياس والوقاية عندما تكـــون التيـــارات والجهـــود الكهربية عالية وذلك بخفض قيم التيارات أو الجهود إلى قيم صغيرة يمكن قياسها والتعامل معها. وأيضا من استخدامات المحولات في العزل الكهربائي بغرض منع

الشوشرة الكهرومغناطيسية في الدوائر الإلكترونية. وتلزم المحولات فـــي اغلـــب الأجهزة الكهربية والالكترونية للحصول على جهود تشغيل هذه الأجهـــزة والتـــي تعتبر صغيرة جدا بالمقارنة بجهد المصدر. و تستخدم المحولات أيـــضا للموائمـــة (التوفيق) بين الممانعات. و تعتمد المحولات على مـــا يـــسمى بخاصـــية الحـــث التبادلي (Mutual Inductance).

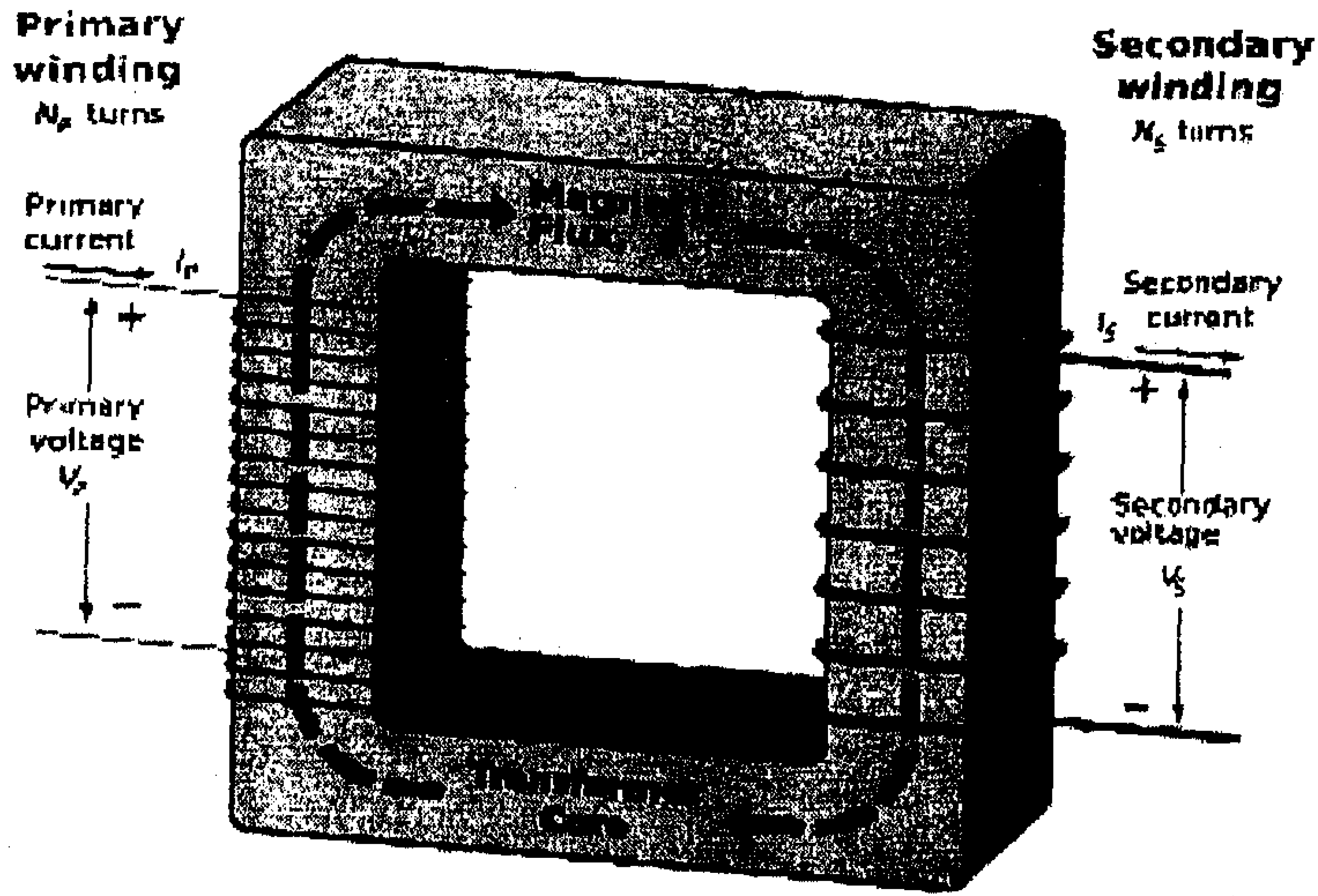
و تستخدم المحولات على نطاق واسع في المنتجات الالكترونية الاستهلاكية لخفض الجهد و إمداد التيار الكهربائي إلى مستوى مناسب لدوائر الجهد المنخفض التي تتضمنها. في هذه النوع من التطبيقات المحول يمكن أيـــضا أن تقـــوم بـــدور رئيسي من عناصر السلامة حيث يتم عزل المستخدم النهائي كهربائيا من الاتصال المباشر مع جهد الخطر.

محولات الإشارات السمعية وتستخدم لـــربط مراحـــل مكبـــرات الـــصوت وأجهزة مثل الميكروفونات وأجهزة التسجيل بمكبـــرات الـــصوت ذات المعاوقـــة الكهربائية. المحولات الصوتية يسمح دوائر اتصال تليفونيه على استمرار المحادثة في اتجاهين باستخدام زوج واحد من الأسلاك. وتستخدم المحولات أيـــضا حـــين يكون من الضروري استخدام طريقة فرق الإشارة التفاضـــلية بالنـــسبة لإشـــارة الأرضي ، وأيضا لعزل الكابلات الخارجية والداخلية للدوائر.

المبادئ الأساسية

يقوم المحول على مبدأين : أولا : أن التيار الكهربائي يمكن أن ينتج مجـــال مغناطيسي (الكهرومغناطيسية) ، وثانيا أن تغيير المجال المغناطيسي داخل لفـــات من الأســـلاك ينـــتج جهـــد مـــستحث علـــي طرفـــي نهـــايتي الملـــف (الحـــث الكهرومغناطيسي). وعن طريق تغيير التيار في الملف الابتدائي ، فإنها تغير مـــن قوة المجال المغناطيسي الناتج عنه ؛ و يمتد هذا التغيير في المجـــال المغناطيـــسي إلي الملف الثانوي ، وبالتالي يتغير الجهد المستحث عبر الملف الثانوي.

في الشكل التالي نجد محول خفض مثالي يعرض تدفق المجال المغناطيسي في الكور (القلب المغناطيسي) . شكل (1-1) يبين تصميم مبسط للمحول. حاليـا يمر تيار عبر لفات الملف الابتدائي فينشئ المجال المغناطيسي. الملـف الابتـدائي والثانوي عبارة عن لفائف ملفوفة حول قلـب مـصنوع مـن مـادة ذات نفاذيـة مغناطيسية عالية جدا ، مثل الحديد ؛ وهذا يـضمن ان معظـم خطـوط المجـال المغناطيسي التي ينتجها التيار المار في الملف الابتدائي داخـل القلـب الحديـدي وتمر عبر الملف الثانوي فضلا عن لفات الملف الابتدائي .



شكل (1-1) محول مثالي ومسار الفيض في القلب المغناطيسي

نظرية عمل المحول :

1- مرور التيار المتردد في الملفات الابتدائية ينشئ مجالا مغناطيسيا متغيراً.

2- يقطع الفيض المغناطيسي المتغير لفات الملف الثـانوي فيتولـد فيهـا – بالحث – جهدا كهربيا يعارض التغير في شدة واتجاه المجال المغناطيسي.

3- الجهد المستحث المتولد في الملفات الثانوية يسبب تدفق التيار مـن هـذه الملفات عندما توصل بحمل ما .

نسبة التحويل :

حيث أن الفيض المغناطيسي للمحول يتناسب مع حاصـــل ضـــرب تيـــار الملـــف الابتدائي Ip × عدد لفاته Np .

$$\frac{\text{الجهد الرئيسي}}{\text{الجهد الثانوي}} = \frac{\text{لفات الملف الرئيسي}}{\text{لفات الملف الثانوي}}$$

ونفس الفيض المغناطيسي يتناسب مع حاصل ضرب تيار الملـــف الثـــانوي Is × عدد لفاته Ns .

$Ip.Np=Is.Ns$ تيار الملف الابتدائي × عدد لفات الملف الابتدائي= تيار الملف الثانوي × عدد لفات الملف الثانوي

$Ip.Is=Ns.Np$ تيار الملف الابتدائي × تيار الملف الثانوي= عدد لفات الملـــف الثانوي × عدد لفات الملف الابتدائي

$$\frac{\text{التيار في الملف الرئيسي}}{\text{التيار في الملف الثانوي}} = \frac{\text{لفات الملف الثانوي}}{\text{لفات الملف الرئيسي}}$$

وتسمى النسبة Ns/Np بنسبة التحويل .

وحيث أن قدرة الملف الابتدائي Pp = قدرة الملف الثانوي Ps (بفرض أن المحول لا يفقد شيئا من طاقته المغناطيسية)

$Pp=Ps=P$ قدرة الملف الابتدائي= قدرة الملف الثانوي = القدرة

$P=Vp.Ip$ القدرة = جهد الملف الابتدائي × تيار الملف الابتدائي

$P=Vs.Is$ القدرة = جهد الملف الثانوي × تيار الملف الثانوي

وبالتعويض في المعادلة :

Ip.Is=Ns/Np تيار الملف الابتدائي × تيار الملف الثانوي

= عدد لفات الملف الثانوي × عدد لفات الملف الابتدائي

(P/Vp)/(P/Vs)=Ns/Np (قدرة / جهد الملف الابتـدائي) / (قـدرة / جهـد الملف الثانوي) = عدد لفات الملف الثانوي / عدد لفات الملف الابتدائي

Vs/Vp=Ns/Np جهد الملف الثانوي/ جهد الملف الابتدائي

= عدد لفات الملف الثانوي/ عدد لفات الملف الابتدائي

يقال أن المحول من النوع الرافع إذا كانت النسبة Ns/Np أكبـر مـن الواحـد الصحيح . وفي هذه الحالة يكون جهد الملف الثانوي Vs أكبر من جهـد الملـف الابتدائي Vp، وتيار الملف الثانوي Is أصغر من تيار الملف الابتدائي Ip .

كما يقال أن المحول من النوع الخافض إذا كانت النسبة Ns/Np أقل من الواحـد الصحيح . وفي هذه الحالة يكون جهد الملف الثانوى Vs أصغر من جهد الملـف الابتدائي Vp ، وتيار الملف الثانوي Is أكبر من تيار الملف الابتدائى Ip .

قانون الحث المغناطيسي

يمكن حساب الجهد المستحث عبر لفات الملف الثانوي من قانون فـاراداي ، والتي تنص على أن :

$$V_S = N_S \frac{d\Phi}{dt}$$

حيث أن Vs هو الجهد الحظي ، Ns هو عدد لفائف الملف الثانوي وφ هي الفيض المغناطيسي المار خلال لفة واحدة من الملف. وإذا كان لفائف الملف عمودية على خطوط الفيض المغناطيسي ، والفيض هو ناتج ضرب قوة المجال المغناطيسي B والمساحة التي تمر خلالها . المساحة ثابتة ، وتساوي مساحة

مقطع القلب الحديدي للمحول ، في حين ان المجال المغناطيسي يتغير مع الوقت وفقا للإثارة في الملف الابتدائي والثانوي. بما أن نفس شدة المجال المغناطيسي يمر عبر المرحلتين الابتدائية والثانوية في لفائف المحول المثالي ، فان الجهد بين طرفي الملف الابتدائي يساوى :

$$V_P = N_P \frac{d\Phi}{dt}$$

بأخذ نسبة من المعادلات للجهد الابتدائي و الثانوي ، فتعطي المعادلـــة الأساســية لرفع أو خفض الجهد

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

المعادلة المثالية للقدرة

إذا كان الملف الثانوي موصل بحمل يسمح بمرور تيار فهذا يسمح بتدفق الطاقــة الكهربائية من الدائرة الابتدائية إلى الدائرة الثانوية. ومن الناحية المثالية ، المحول تماما ذو كفاءة عالية ؛ كل الطاقة تحولت مــن الــدائرة الابتدائيـــة إلـــى مجـــال مغناطيسي وداخل الدائرة الثانوية. وإذا كان هذا الشرط قد تحقق ، فـــإن الطاقــة الكهربائية الواردة يجب أن تساوي القدرة الخارجة.

$$P_{\text{incoming}} = I_P V_P = P_{\text{outgoing}} = I_S V_S$$

والتي تعطي معادلة المحول المثالي:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

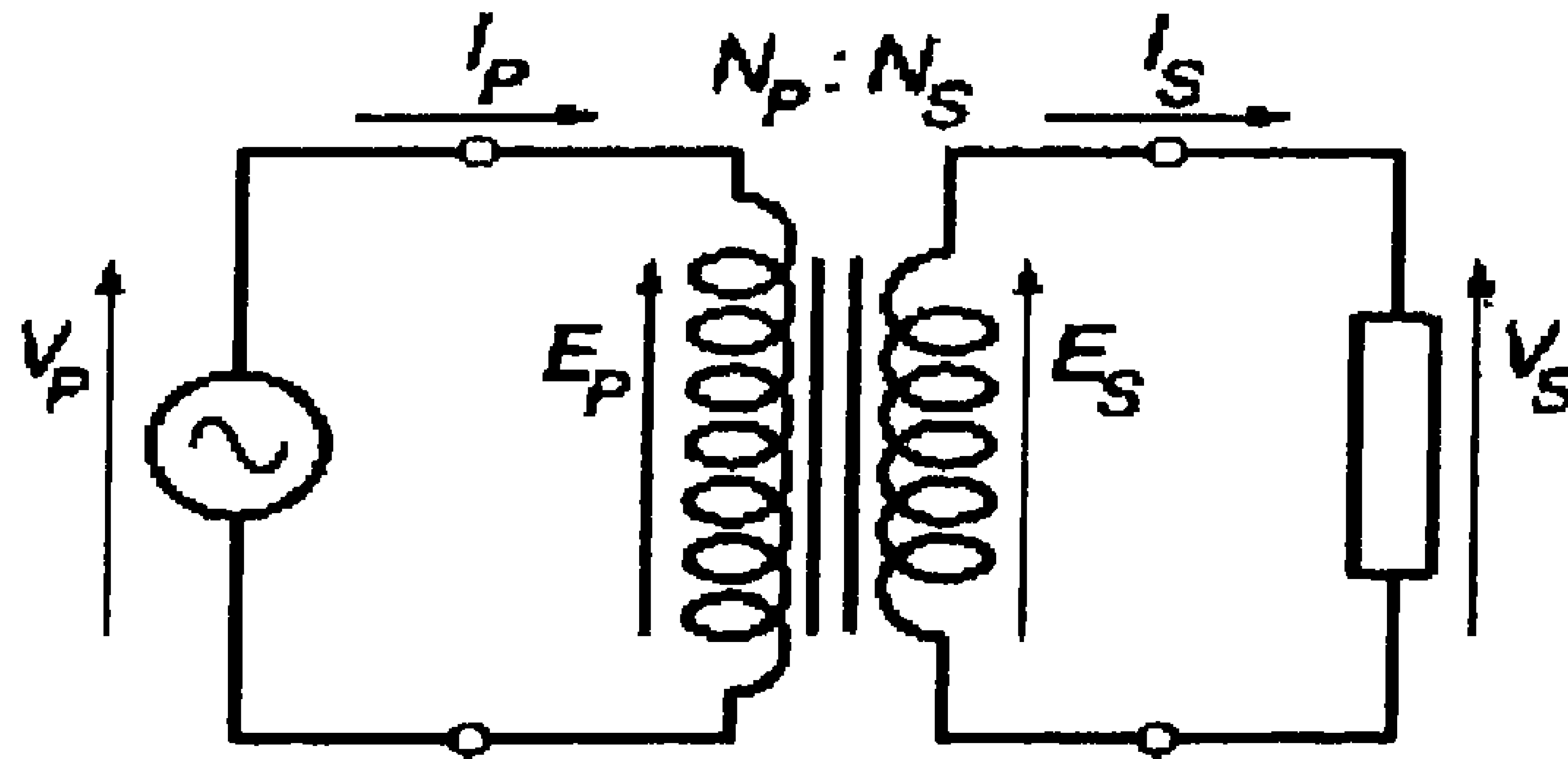
وإذا زاد الجهد (رفع) ، ثم نقص التيار هو (انخفض) بنفس العامــل. المحــولات ذات كفاءة لدرجة أن تكون هذه الصيغة معقولة التقريب.

وفي هذه الدائرة ، المعاوقة الكهربائية تتحول بنسبة مربع نسبة تحويــل الملفــات، فعلي سبيل المثال ، إذا كانت ZS هي المعاوقة الكهربائيــة بــين طرفــي الملــف الثانوي ، وتكون المعاوقة الكهربائية لها تبدو للدائرة الأولى كالتالي:

$$Z_S \left(\frac{N_P}{N_S} \right)^2$$

هذه العلاقة المتبادلة ، بحيث أن المعاوقة الكهربائية Zp من الدائرة الابتدائية تبدو بالنسبة إلى الدائرة الثانوية كالتالي:

$$Z_P \left(\frac{N_S}{N_P} \right)^2$$



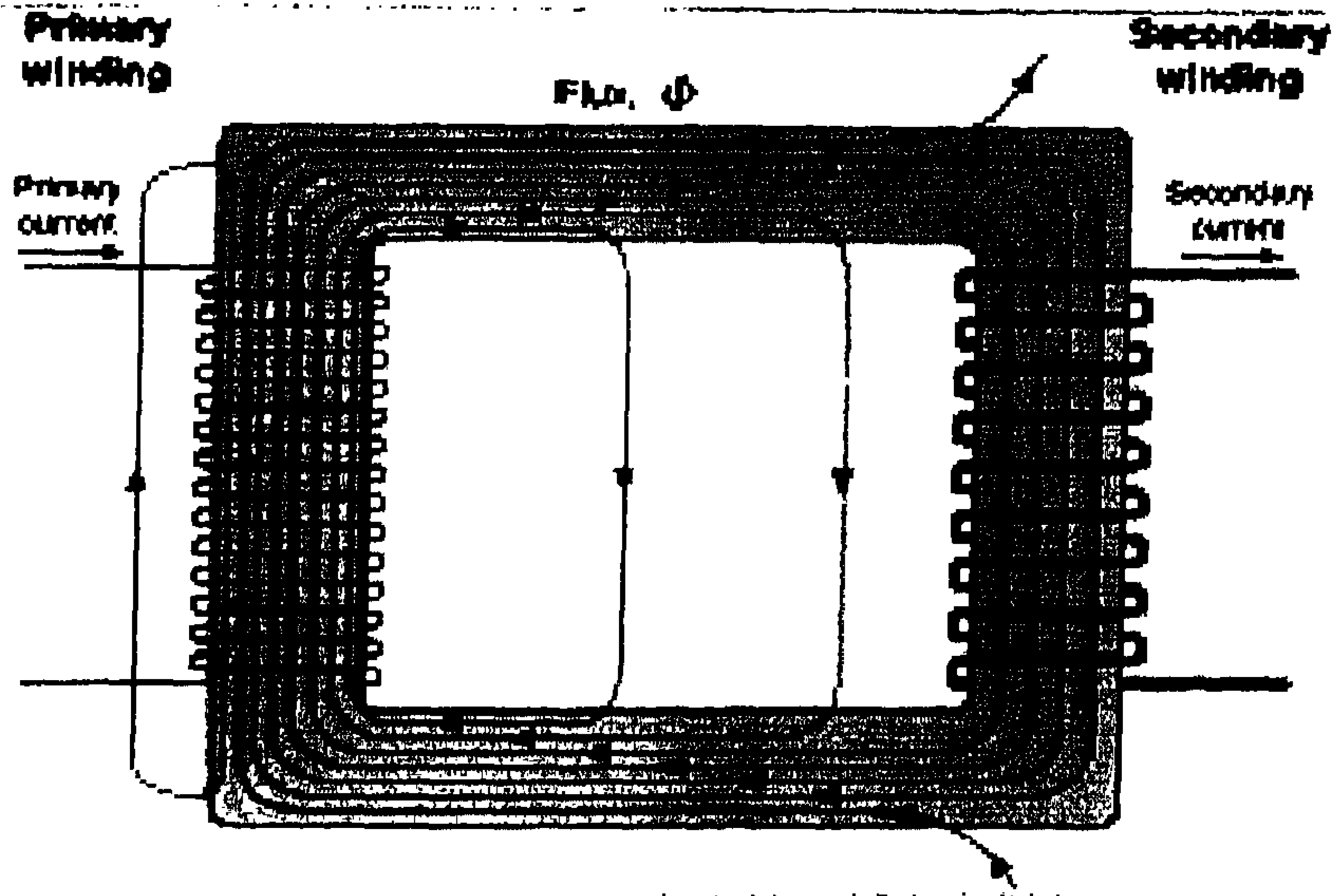
شكل (2-1) المحول المثالي كعنصر من عناصر الدائرة

الوصف التفصيلي للتشغيل

الوصف المبسط أعلاه يغفل عن عدة عوامل تعقيد، ولاسيما التيار الابتدائي المطلوب لإنشاء مجال مغناطيسي في القلب الحديدي، ومساهمة المجال المغناطيسي بسبب التيار في الدائرة الثانوية.

نماذج مثاليه للمحول وعادة ما تفترض أن معاوقة القلب الحديدي مهملة مع اثنين من الملفات ذات المقاومة الصفرية. عندما يسلط الجهد علي الملف الرئيسي ، يتدفق تيار صغير ، منتجا مجال المغناطيسي حول الدائرة المغناطيسية للقلب الحديدي. التيار اللازم لتدفق المجال المغناطيسي يطلق عليه التيار الممغنط magnetizing current ؛ وحيث أن القلب الحديدي المثالي وقد افترض أن يكون ذو معاوقة قريبة من الصفر ، فان التيار الممغنط لا يذكر ، وان كانت لا تزال اللازمة لتهيئة المجال المغناطيسي.

تغير المجال المغناطيسي يحث على وجود قوة كهروحركية (emf) عبر كل ملف. وحيث أن الملف المثالي ليس له معاوقة كهربائية ، فلا يوجد أي انخفاض في الجهد مصاحب له ، وكذلك الجهود Vp و Vs المقاسة علي أطراف المحول ، يساوي إلى ما يقابلها من قوة دافعة كهربائية Emf . القوة الدافعة في الدائرة الابتدائية ، تعمل في اتجاه كعاكس للجهد الابتدائي ، في بعض الأحيان يطلق عليها "القوة الدافعة الخلفية" وهذا يرجع إلى قانون لينز الذي ينص على أن القوة الدافعة المستحثة تكون دائما معاكسة لأي تغيير في المجال المغناطيسي.



شكل (3-1) تسرب الفيض في محول ذو ملفين

الاعتبارات العملية

أولاً : تسرب الفيض

نموذج المحول المثالي يفترض أن كل الفيض التي تولدها ملفات الملف الابتدائي تتعانق مع جميع لفات الملفات ، بما في الملف الابتدائي ذاته. في الممارسة العملية ، يأخذ الفيض بعض المسارات العارضة خارج اللفات. مثل هذا التسرب يطلق عليه الفيض المتسرب ، وينتج عنه معاوقة حثية ذاتية علي التوالي مع المحاثة التبادلية بين لفات المحول. من نتائج التسرب انه يجري تخزين الطاقة بالتناوب وتفريغها من المجالات المغنطيسية مع كل دورة من إمدادات الطاقة. إنها ليست خسارة قدرة مباشرة ، ولكن تؤدي إلى تدنى تنظيم و هبوط الجهد ، مما يؤدى إلى أن الجهد الثانوي يكون غير متناسبا تناسبا طرديا مع الجهد الابتدائي ، ولاسيما تحت تحميل ثقيل. ولذا فإن محولات التوزيع عادة ما تصمم لتكون ذات معاوقة تسرب حثية تبادلية منخفضة جدا.

غير انه ، في بعض التطبيقات ، يمكن أن يكون التسرب من الخواص المرغوب فيها ، ومسارات مغناطيسي طويلة وفجوات هوائية ، أو الالتفافية shunts المغناطيسية قد تكون أدخلت عمدا إلى تصميم المحول للحد من تيار القصر . يمكن لمحولات التسرب أن تستخدم لتزويد الأحمال ذات المقاومة السلبية ، مثل الأقواس الكهربائية ، ولمبات بخار الزئبق ومصابيح النيون ؛ لمعالجة الأحمال بأمان التي تكون ذات خاصية القصر دوريا مثل ماكينات اللحام التي تستخدم القوس الكهربائي. الفجوات الهوائية تستخدم أيضا لمنع المحول من التشبع المغناطيسي .

ثانياً: تأثير التردد

من قانون فاراداي أن مشتق-الوقت يبين تدفق الفيض في القلب الحديدي هي جزء متكامل لا يتجزأ من الجهد. افتراضيا، المحول المثالي من شأنه العمل مع إثارة التيار المباشر، مع زيادة تدفق الفيض خطيا مع الزمن. في الممارسة العملية ، والفيض المغناطيسي يرتفع بسرعة كبيرة لدرجة التشبع المغناطيسي للقلب الحديدي ، مما يؤدى إلى زيادة هائلة في تيار المغنطة والتسخين الزائد للمحول. جميع المحولات العملية يجب أن تعمل في ظل تناوب (أو تردد) التيار.

المعادلة العامة للقوة الدافعة الكهرومغناطيسية للمحول

وإذا كان الفيض المغناطيسي متردد في صورة منحني ظل الزاوية ، فالعلاقة إما بين الجهد وتردد المصدر ، وعدد اللفات ، ومساحة مقطع القلب الحديدي و كثافة الفيض المغناطيسي تعطي بالمعادلة العامة:

$$E = \frac{2\pi f N_a B}{\sqrt{2}} = 4.44\, f N_a B$$

والقوة الدافعة المغناطيسية emf للمحولات عند كثافة فيض معينة تزداد مع زيادة التردد. و بالعمل عند ترددات أعلى ، فيمكن أن تكون المحولات أكثر

إحكاما في الحجم بسبب أنها تكون قادرة على نقل المزيد من القدرة من دون التوصل إلى التشبع ، مع الحاجة إلى عدد أقل من اللفات لتحقيق نفس المعاوقة الكهربائية. غير أن الخصائص الأساسية مثل مفاقيد القلب الحديدي التأثير الجلدي للموصلات تزداد مع زيادة التردد. فمثلا في الطائرات والمعدات العسكرية يستخدم تردد 400 هرتز في إمدادات الطاقة والتي تقلل من وزن الملفات والقلب الحديدي.

تشغيل المحول عند الجهد المقنن ولكن بتردد أعلى مما هو مقصود سوف يؤدى إلى تخفيض تيار المغنطة magnetizing current . مع تردد اقل من قيمة التصميم ، مع ثبات الجهد ، magnetising فان تيار المغنطة سيزداد. تشغيل مجموعة من المحولات عند تردد آخر غير تصميمها قد يتطلب تقييم الجهود ، والمفاقيد ، والتبريد لإمكانية التشغيل الآمن عمليا. فعلى سبيل المثال ، قد تحتاج محولات إلى ان تكون مجهزه "فولت لكل هيرتز" الإفراط في الإثارة لحماية المحول من الجهد أو فرق الجهد المرتفع في درجة أعلى من الترددات. معرفة الترددات الطبيعية للفات المحول هو من الأهمية لتحديد الاستجابة العابرة للفات عند النبضة العالية وزيادة الجهود.

مفاقيد الطاقة

المحول المثالي لن يكون له أي فقد في الطاقة ، وبالتالي فسوف تكون كفاءته بنسبة 100 ٪. من الناحية العملية تبدد الطاقة في المحولات يكون في اللفات ، القلب الحديدي ، والهياكل المحيطة بها. المحولات الكبيرة عموما تكون أكثر كفاءة، وتلك التي تستخدم لتوزيع الكهرباء عادة ما تكون ذات كفاءة أكبر من 98 ٪.

المحولات التجريبية باستخدام اللفات ذات توصيلية عالية جدا superconducting يمكن أن تحقق كفاءة أكثر من 99,85 ٪ ، وفي حين أن

الزيادة الصغيرة في الكفاءة ، عندما تطبق على محولات محملة بحمل كبير فــإن الموفورات السنوية في الطاقة تكون كبيرة.

والمحولات الصغيرة ، منخفضة القدرة مثل النوع المستخدم في الالكترونيات الاستهلاكية ، قد لا تكون أكثر من 85 ٪ كفاءة ؛ على الرغم من الفقد الصغير في القدرة ، فان مجموع فقد الطاقة الناجم عن العدد الكبير جدا من هذه الأجهزة ينبغي أن يتعرض لمزيد من الاهتمام و التدقيق.

الفقد يتناسب مع تيار الحمل ، ويمكن أن يطلق عليها مفقودات "عدم تحميل" أو "كاملة للتحميل". مقاومة الملفات تسيطر على مفقودات التحميل ، في حين أن مفقودات التيارات التخلفية والدوامية تساهم في أكثر من 99 ٪ من مفقودات الطاقة في حالة عدم التحميل.

مفاقيد عدم التحميل يمكن أن تكون كبيرة ، مما يعني انه المحول الراكد يشكل استنزافا على الإمدادات الكهربائية ، التي تشجع تنمية المحولات المنخفضة المفاقيد .

للحد من الفقد بسبب المقاومة تصنع الملفات من النحاس الذي له مقاومة نوعية منخفضة. جزء من الطاقة الكهربية يتحول إلى طاقة حرارية بسبب مقاومة الأسلاك . يصنع القلب الحديدي من شرائح رقيقة من الحديد المطاوع السليكوني معزولة عن بعضها للحد من التيارات الدوامية.

جزء يفقد بسبب التيارات الدوامية المتولدة في القلب الحديدي . يوضع الملف الابتدائي داخل الملف الثانوي ويعزل عنه. تسرب جزء من خطوط الفيض خارج القلب الحديدي فلا تقطع الملف الثانوي ، للحد من الفقد يصنع القلب من الحديد المطاوع لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية ، جزء يفقد في صورة طاقة ميكانيكية تستنفذ في تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدي .

تشرد بعض خطوط المجال المغناطيسي فلا يستفاد بها وتلك تمثل طاقة مفقودة من المحول ، كما يفقد البعض الأخر من الطاقة في صورة تيارات دوامية

أو إعصارية ، ولهذا نجد أن أقصى قدرة يمكن سحبها من الملف الثانوي لا تساوى قدرة الملف الابتدائي بل أقل منه .

المحولات هي من بين أكثر الآلات كفاءة ، و تنقسم المفاقيد في المحول إلى فقد في اللفات ، وتوصف بمفاقيد النحاس ، وتلك في الدائرة في المغناطيسية ، و يطلق عليها مفاقيد الحديد. الفقد في المحول تنشأ عن :

1- مقاومة الملفات

التيار المتدفق خلال اللفات يسبب تسخين ناتج عن مقاومة الموصلات. وفي حالة مستوى أعلى من الترددات ، التأثير الجلدي و التأثير التقاربي يؤدي إلي مقاومة إضافية للملفات وزيادة الفقد.

2- المفاقيد التخلفية

في كل مرة ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي ، تفقد كمية صغيرة من الطاقة المفقودة بسبب التخلفية داخل القلب الحديدي. لفئة معينة من مواد القلب الحديدي ، و تتناسب المفاقيد مع التردد ، ويتوقف علي ذروة كثافة الفيض التي يتعرض لها.

3- التيارات الدوامية

المواد المغناطيسية الحديدية أيضا جيدة التوصيل ، القلب الحديدي والمصنوع من الصلب لمثل هذه المواد يشكل لفة واحدة مغلقة Short-circuited بدورها في بطول الهيكل . ولذلك التيارات الدوامية تسري في القلب الحديدي في مستوي عمودي علي اتجاه الفيض المغناطيسي ، ومسئولة عن التسخين الناتج عن مقاومة مواد القلب الحديدي. مفاقيد التيار الدوامية هي دالة معقدة تتناسب مع مربع التردد ومعكوس مربع سمك المواد المغناطيسية الحديدية.

4- المغنطة Magnetostriction

تدفق المجال المغناطيسي في المواد المغناطيسية الحديدية ، مثل القلب الحديدي ، ويسبب توسيع نطاق العقد قليلا مع كل دورة من دورات المجال المغناطيسي ، وهذا التأثير المعروفة باسم magnetostriction. وتنتج هذه صوت الأزيز المصاحب للمحولات، ويتسبب بدوره في الفقد الناجم عن التسخين الاحتكاكي في القلب الحديدي.

5- الفقد الميكانيكي

وبالإضافة إلى المغنطة magnetostriction ، المجال المغناطيسي المتناوب يسبب تذبذب بين القوى الكهرومغناطيسية في الملفات الابتدائية والثانوية. و هذه الاهتزازات الداخلية القريبة من الهياكل المعدنية ،بالإضافة إلى الأزيز و الضوضاء ، تستهلك كمية صغيرة من القدرة.

6- المفاقيد العابرة

المحاثة تبادلية المتسربة هي في حد ذاتها بلا فقد ، لأن الطاقة التي تزود بها المجال المغناطيسي تعود إلى المصدر الكهربي خلال النصف الثاني من الدورة. ومع ذلك ، فان أي تسرب للفيض قرب المواد الموصلة مثل هيكل المحول دعمها سيؤدي إلى زيادة التيارات الدوامية وتحويلها إلى حرارة.

القدرة و الفقد و الكفاءة :

القدرة :

قدرة المحول هي أقصى قدرة كهربية يمكن سحبها من الملف الثانوي .

وتساوى حاصل ضرب جهد الملف الثانوي Vs × تياره Is

كما تساوى حاصل ضرب جهد الملف الابتدائي Vp × تياره Ip

وهناك محولا ت ذات قدرات عالية تقاس بالكيلو فولــت . أمبيــر وأخــرى ذات قدرات منخفضة كالتي تستخدم في مجال الالكترونيات.

كفاءة المحول

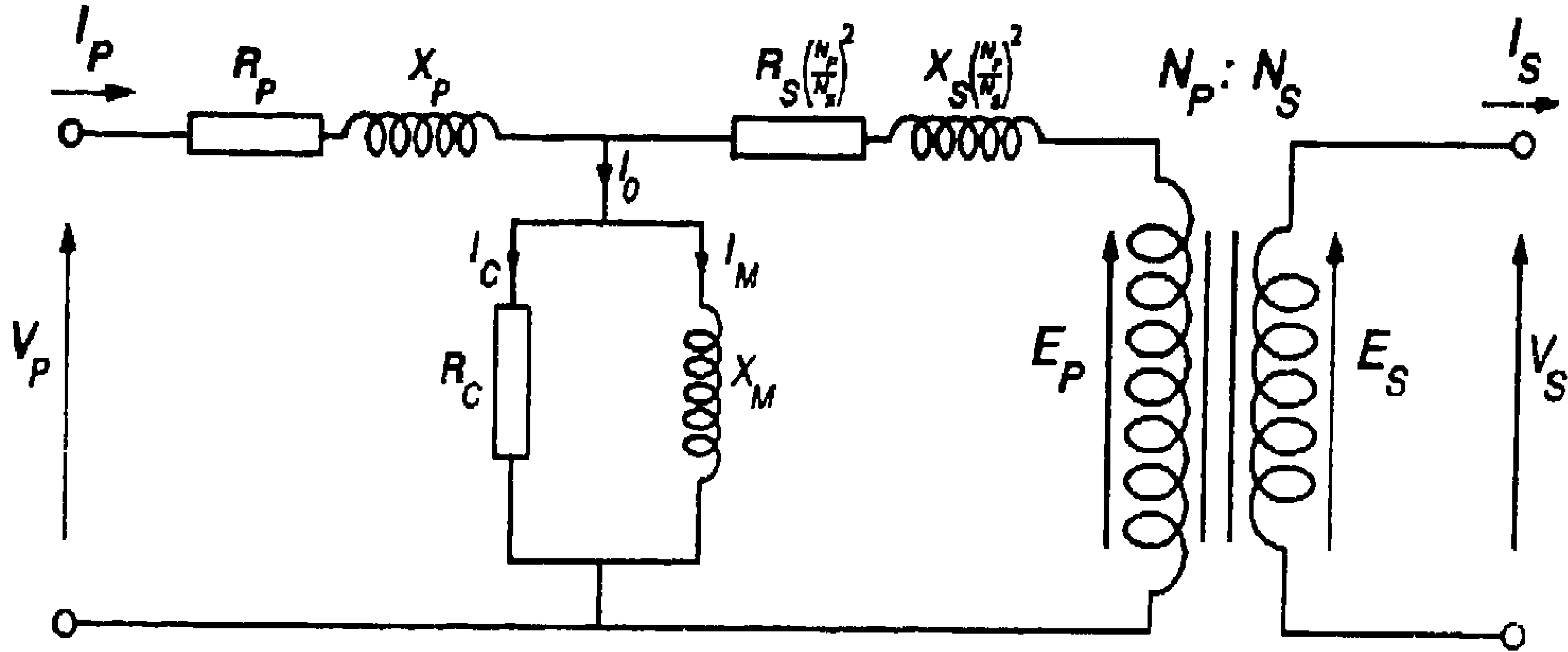
هي النسبة بين الطاقة الكهربائية في الملف الثانوي إلى الطاقة الكهربائية في الملف الابتدائي أو هي النسبة بين قدرة الملف الثانوي وقدرة الملف الابتدائي، وهذه النسبة لا يجب أن تقل عن حد معين ، ومن المفضل أن تقترب هذه النسبة من الواحد الصحيح ولكن هذا لا يحدث إلا في المحولات المثالية التى لا يحدث فيها فقد .

يمكن أن يحتوي المحول على أكثر من ملف ابتدائي أو أكثر من ملف ثانوي والتي تجمع كلها على قلب واحد. يمكن أن تحتوي بعض الملفات الثانوية على نقط تفرع وذلك للحصول على قيم متعددة في خرج المحول .

كفاءة المحول = أقصى قدرة يمكن سحبها من الملــف الثــانوي / قــدرة الملــف الابتدائي

الدائرة المكافئة

القيود المادية للمحولات العملية قد تكون جمعت كنموذج دائرة مكافئة (المبينة بالشكل 1-4) تأخذ في الاعتبار المحول المثالي بلا فقد. فقد الطاقة في اللفات يعتمد علي التيار وتمثل بسهولة كمقاومة علي التوالي Rp, Rs. تسرب الفيض ينتج في جزء يسير من هبوط الجهد دون أن تساهم في الربط المتبادل ، وبالتالي يمكن أن تمثل بالمحاثة الذاتية الكهربائية Xs, Xp علي التوالي مع منطقة الربط المثالية. الفقد الناجم عن الحديد في معظمها ناتجة عن التيارات التخلفية و الدوامية في القلب الحديدي ، وتميل إلى أن تكون متناسبة مع مربع الفيض في القلب الحديدي عند تردد معين. و حيث ان الفيض في القلب الحديدي يتناسب مع الجهد المسلط ، مفاقيد الحديد يمكن أن تمثل بمقاومة Rc علي التوازي مع للمحول المثالي.



شكل (4-1) الدائرة المكافئة للمحول ، مع المعاوقات الكهربائية الثانوية المشار إليها في الجانب الابتدائي

القلب الحديدي الذي له نفاذية محدودة يتطلب تيار مغنطة I_m للحفاظ على تدفق الفيض المتبادل في القلب الحديدي. تيار المغنطة يكون في نفس زاوية الطور مع الفيض الناتج عنه ؛ التشبع يجعل العلاقة بين الاثنين إلى أن تكون غير خطية ، ولكن لأجل البساطة يمكن أن نتجاهل بعض العناصر في معظم الدوائر المكافئة. مع مصدر كهربي علي صورة منحني دالة جيب الزاوية ، يتأخر الفيض في القلب الحديدي عن emf من قبل 90 درجة وهذا الأثر يمكن ان يمثل بمعاوقة التمغنط Xm بالتوازي مع عنصر الفقد في القلب الحديدي. Rc, Xm في بعض الأحيان توصف بفرع المغنطة للنموذج magnetizing branch . وإذا كانت الدائرة الثانوية مفتوحة ، التيار الذي يسري في فرع المغنطة magnetising يمثل تيار المحول في حالة اللاحمل.

المعاوقة الكهربائية الثانوية Rs, Xs عندما تنقل (أو "المشار اليه") إلـــى الجانـــب الأبتدائي بعد ضرب عناصر المعاوقة الكهربائية بمعامل :

$$\left(\frac{N_P}{N_S} \right)^2$$

فإن هذا النموذج في بعض الأحيان يسمي " الدائرة المكافئة الدقيقة " ، على الرغم من انه يحتوي بعض التقريب ، مثل افتراض الخطية linearity ويكمن تبسيط التحليل من خلال نقل فرع المغنطة magnetizing branch إلى اليسار من المعاوقة الابتدائية ، مع افتراض أن تيار المغنطة منخفض ، وبعد ذلك يمكن جمع المعاوقات الكهربائية المشار إليها في الجانب الابتدائي والثانوي ، وتسمى المعاوقة الكهربائية المكافئة. يمكن حساب معالم الدائرة المكافئة للمحول من نتائج الاختبارات للمحول : اختبار الدائرة المفتوحة و اختبار دائرة القصر.

أنواع المحولات Transformers Types

يمكن تصنيف المحولات كما يلي :

- من حيث التردد : هناك محولات تردد منخفض وهنـــاك محـــولات تـــردد متوسط ومحولات تردد عالى .
- من حيث نوع القلب : هناك محولات ذات قلوب حديدية وأخرى ذات قلوب هوائية وثالثة ذات قلوب من مسحوق الحديد أو من مادة الفيرريت .

وثمة ارتباط ما بين هذه التصنيفات ، فمحولات التردد المنخفض مثـــل محـــولات القدرة والمحولات المستخدمة في الدوائر الصوتية تصنع قلوبها من شرائح معزولة من الحديد . ومحولات التردد المتوسط تصنع قلوبها من مسحوق الحديد أو مـــن مادة الفيرريت ، ومحولات التردد العالي ذات قلوب هوائية.

أولا : محولات التردد المنخفض (المحولات ذات القلوب الحديدية):

تصمم هذه المحولات لكي تعمل عند الترددات المنخفضة مثل تردات القدرة والترددات الصوتية .

وفي هذا النوع كل من الملفات في القلب حديدي مغناطيسي ، ويشرح الشكل أعلاه الأساس العام في تكوين القلب المغناطيسي للمحول وهو عبارة عن

مجموعة من الشرائح مختلفة الشكل ، حيث نجد أن جزءا منها يشبه حرف (E) والآخر يشبه حرف (I) ويتم ضغط هذه الشرائح معا تعطي التركيب الموضح في الشكل.

يتم عمل القلب المغناطيسي للمحول في صورة شرائح معزولة لتقليل الفقد في القدرة والذي ينشأ بسبب ما يسمى بالتيارات الدوامية.

وتنقسم محولات الكهرباء، طبقاً لأحجامها، إلى محولات التوزيع التي تبلغ مقنناتها ما يزيد على ألف ميجا فولت أمبير، وتصنف المحولات تبعا لعدد الأطوار؛ فمنها أحادي الطور، وثلاثي الأطوار، وسداسي الأطوار ومضاعفاتها، وتستخدم المحولات الأحادية للمقننات الصغيرة نسبياً، بينما تستخدم المحولات ثلاثية الأطوار في عملية نقل وتوزيع الطاقة الكهربية. ومن حيث نوع الخدمة، فإنها تشمل محولات القوى، ومحولات التوزيع، ومحولات الأجهزة، وهي تفيد في التحكم في دوائر الجهد والتيار العالية، ومحولات المقومات، ومحولات التأريض، والمحولات الخاصة، مثل المستخدمة في محولات الأفران، والمحولات الصغيرة، مثل محولات الإضاءة.

وتنقسم الوحدات الضخمة من هذه المحولات، إلى الأقسام الآتية:

1. المحولات الخاصة بالمولد.
2. محولات النقل.
3. محولات التحكم.

والمقننات الجهد الفعلية للنوع الأول تبلغ 20/ 345 كيلو فولت وتستخدم أجهزة رفع، وتحول قدرة المولد إلى مستوى جهد النقل المطلوب مباشرة. أما في النوع الثاني، فتبلغ مقننات الجهد الفعلية 500/345 كيلو فولت، ويستخدم في تحويل القدرة من مستوى جهد، إلى مستوى جهد آخر داخل نظام النقل ذاته. ويطلق على هذا النوع في الغالب اسم "المحولات الموصلة ذاتياً". والنوع الثالث

يستخدم في عملية فيض القدرة وأداة تحكم في الجهد. وتتميز المحولات بأنها تسمح بفيض القدرة في كلا الاتجاهين، بخلاف المولدات ومعظم عناصر الحمل، التي تعد وحيدة الاتجاه، من وجهة نظر فيض القدرة.

*** تصنيف المحولات من حيث الوظيفة الكهربية:**

1- محولات قدرة (Power Transformer) وهى المحولات المستخدمة في شبكات النقل الكهربية ومحطات التوليد الكهربية

2- محولات توزيع (Distribution Transformer) و هى المحولات المستخدمة في شبكات التوزيع الكهربائية و تكون قدرة هذه المحولات أقل من 5 ميجا فولت أمبير .

3- محولات قياس و تنقسم إلى نوعين :

1 - محولات جهد Voltage Transformer .

2 - محولات التيار Current Transformer.

العناصر الثلاثة المذكورة أعلاه هي أجزاء المحول الأساسية إما فـــي محـــولات القدرة (Transformer Power) فيتم إضافة الأجزاء التالية

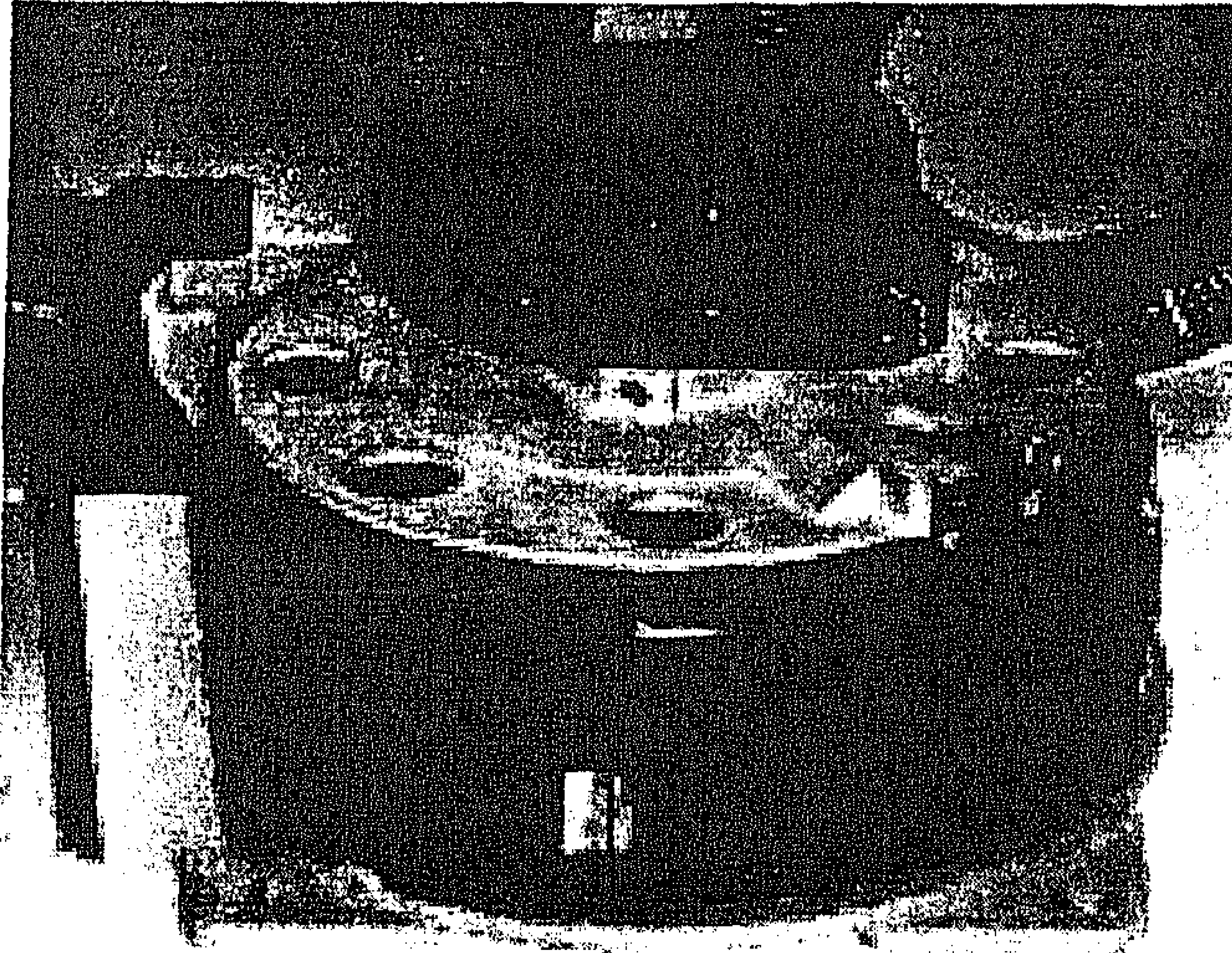
- خزان الزيت الرئيسي Main Tank
- خزان التمدد Conservator
- ريديتر (مجموعة مواسير للتبريد الزيت) Radiator
- طلمبة ضخ الزيت Oil pump
- مجموعة مراوح التبريد Cooling Fan
- منظم الجهد Tap Changer
- عازل اختراق الجهد العالي HV Pushing

مجموعة متنوعة من تصاميم المحولات أنشئت خصيصا لتحقيق بعض التطبيقات الهندسية ، على الرغم من العديد من القواسم المشتركة بينها. بعض من أهم أنواع المحولات تشمل ما يلي :

المحول الذاتي

هناك محولات تعرف باسم "المحولات الذاتية"، وتحتوي على ملف واحد، يؤدي عمل الملف الابتدائي والثانوي، في الوقت نفسه.

المحول الذاتي له ملف واحد فقط وهذا الملف له نهايتين طرفيتين، بالإضافة إلى نقطة ثالثة وسيطة. الجهد الأساسي يطبق عبر طرفين، والجهد الثانوي يأخذ من واحدة من هاتين الطرفين والثالثة. الدوائر الابتدائي والثانوي لها عدد من اللفات المشتركة. حيث الجهد لكل لفة هو نفسه في كل اللفات ، و كل ملف يعطي جهد يتناسب مع عدد اللفات. من خلال تعريض جزء من لفائف الملف وجعل توصيل الملف الثانوي من خلال انزلاق الفرشاة ، يمكن الحصول من المحول الذاتي على نسبة تحويل شبه متغيرة باستمرار ، مما يسمح بالتحكم الدقيق جدا للجهد.



شكل (1-5) المحول الذاتي مع وجود ملامس انزلاق الفرشاة

المحولات متعددة الأطوار

في التغذية الكهربائية ثلاثية الأوجه ، يمكن استخدام ثـــلاث وحـــدات مـــن المحولات أحادية الوجه ، أو يمكن أن تدرج جميع هذه الأوجه الـــثلاث بوصـــفها محول واحد ذو ثلاث أوجه. وفي هذه الحالة ، فان الدوائر المغناطيسية ترتبط معا ، وهكذا القلب الحديدي الذي يتضمن تدفق الفيض ثلاثي الأوجه. يوجد عدد مـــن التشكيلات الممكنة للملفات ، مما أدى إلى ظهور مختلف الصفات وحيود الأوجـــه. ولاسيما تشكيل متعدد الأطوار هو محـــول التعـــرج zigzag transformer ، وتستخدم للتأريض وفي قمع التيارات التوافقية.

محولات الرنين

محول الرنين يستخدم المحاثة التبادلية من اللفات في الخارجية مع مجموعة المكثفات متصلة علي التوالي أو بالتوازي مع اللفات ، و / أو السعه من اللفـــات نفسها ، لإيجاد واحد أو أكثر من دوائر الرنين. فعلى سبيل المثال ، قـــد تـــستخدم للمحاثة التبادلية للملف الابتدائي علي التوالي مع مكثف. الرنين يمكـــن أن يـــساعد في التوصل إلى جهد عال جدا علي أطراف الدائرة الثانوية. محولات الرنين مثـــل ملف تسلا Tesla Coil ، و الذي يمكن أن يولد جهود عالية جـــدا ، وقـــادرة على توفير تيار أعلى بكثير من التيار الناتج عـــن آلات التوليـــد الكهروســـتاتيكية عالية الفلطية مثل مولد فان دي غراف. تطبيق آخر للمحول هي محولات الـــرنين للربط بين المراحل كما في الاستقبالsuper-heterodyne receiver ، حيث تقدم الانتقائية للاستقبال في المحولات المتناغمة ومكبرات التردد الوسيطة.

محولات التسرب

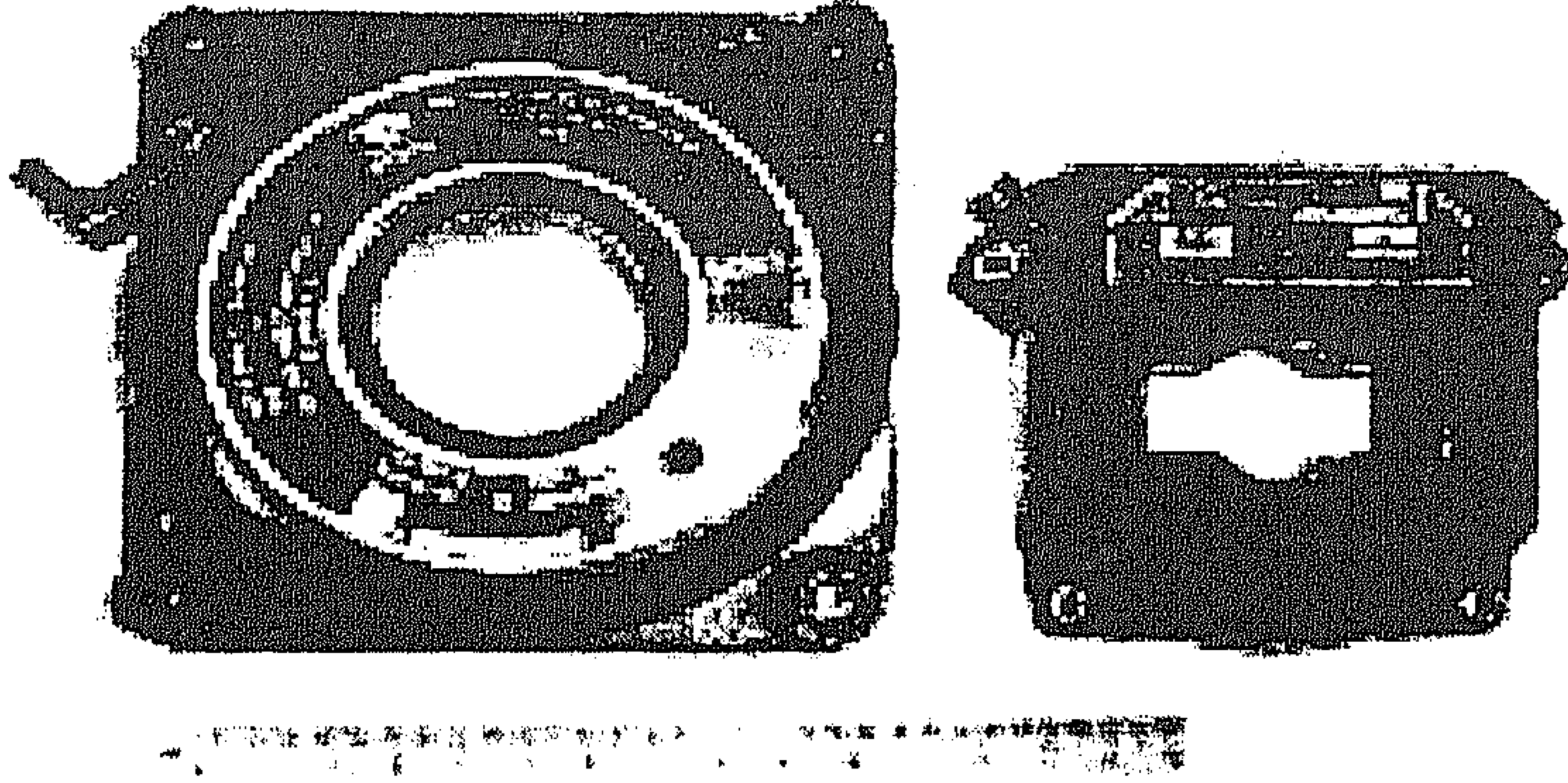
محول التسرب ، يسمى أيضا محول ذو المجال العابر ، لها محاثة تـــسرب أعلى بكثير من غيرها من المحولات ، و في بعض الأحيان تزيد في حالة التجاوز مغناطيسي أو التوازي في القلب الحديدي بين الابتدائي والثانوي ، والذي هو فـــي بعض الأحيان يمكن ضبطه بمجموعة مسمار. وهذا يوفر محول ذو قـــدرة فائقـــة

علي الحد من التيار نظرا لفقد الاقتران بين لفات الابتدائي والثانوي. تيارات الدخل والخرج منخفضة لدرجة كافية لمنع الحمل الحراري الزائد تحت جميـع ظـروف التحميل-- حتى لو كانت الدائرة الثانوية في حالة قصر Shorted.

محولات التسرب تستخدم في لحام القوس ومصابيح التفريغ عالية الفولتيـة (المصابيح الفلورية باردة القطب السالب ، وهي متصلة علي التوالي تـصل إلـى 7،5 كيلو فولت). ومن ثم تستخدم كمحول جهد وكـبالاست مغناطيسي . وهنـاك تطبيقات أخرى هي مانع القصر للدائرة في محولات الجهد المنخفض أو الجـرس في المنشآت.

محولات القياس Instrument transformer

محول التيار هو جهاز قياس مصمم ليعطي تيار في الملف الابتدائي بما يتناسب مع التيار المار في الملف الثانوي. محولات التيار تستخدم عادة في القياس وأجهزة الوقاية ، حيثما تسهل القياسات الآمنة للتيارات الكبيرة. محول التيار يعزل دوائر التحكم و القياس عن ارتفاع الجهود على الدائرة التي يتم قياسها. محولات الجهد (VTs) – و التي يشار إليها أيضا (PTs) -- تستخدم لقياس وحماية دوائر الجهد العالي. وهي مصممة لتكون ذات حمل صغير لا يعتد به بالنسبة للمصدر المقاس وان تكون ذات نسبة تحويل علي درجة عالية من الدقة لخفض الجهود العالية ذلك أن معدات القياس والوقاية يمكن تشغيلها بدقة.



شكل (1-6) محولات التيار ،

وهي مصممة بحيث تكون بشكل حلقي حول الموصلات

تصنيف المحولات

العديد من الاستخدامات للمحولات تؤدي إلى أن تصنف في عدد من طرق مختلفة

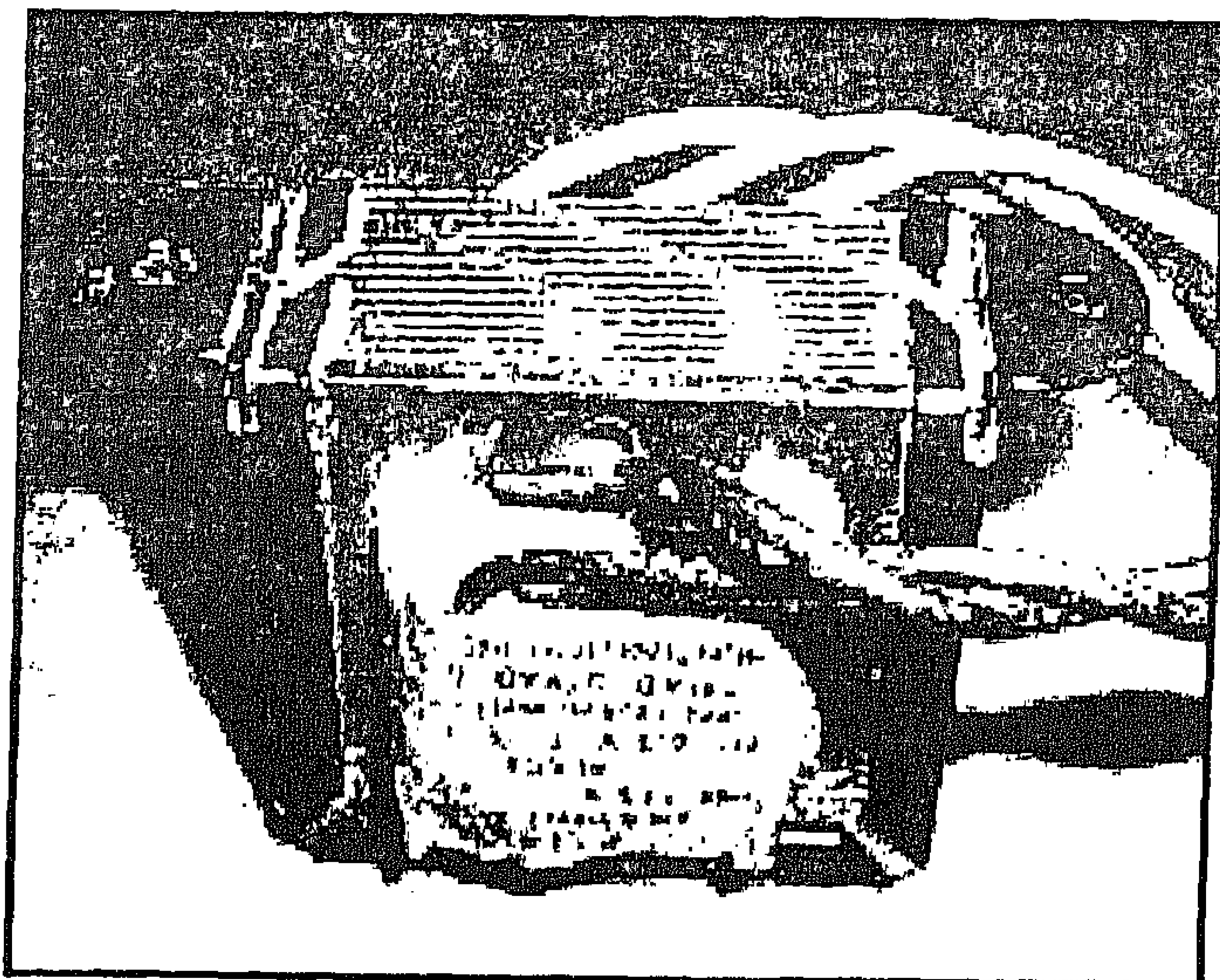
- مستوى القدرة : من جزء من(فولت أمبير) إلى أكثر من ألف ميجا فولت أمبير.
- نطاق الترددات من قبل : القدرة ، السمعية ، أو التردد اللاسلكي ؛
- الجهد المقنن: من فولت إلى بضعة مئات من كيلو فولت ؛
- عن طريق نوع التبريد : تبريد الهواء ، تبريد الزيـت ، تبريـد المـراوح ، أو تبريد المياه .
- عن طريق التطبيقات والوظيفة : مثل إمـدادات الطاقــة ، ومطابقــة المعاوقــة الكهربائية ،خرج الجهد و مثبت التيار ، أو عزل الدائرة .
- والهدف الرئيسي من قبل : التوزيع ، المعدل ، فرن القوس ، ومكبر للصوت .
- ينتقل عن طريق نسبة التحويل: - محول رفع ، محول خفض ، ومحول عــزل (بالقرب من نسبة متساوية) ، ومتغير.

تركيب المحولات Construction

القلب الصلب الرقائقي Laminated Steel Core

المحولات للاستعمال في القدرة أو الترددات السمعية عادة ما يكـون القلـب مصنوعة من السليكون الصلب ذو نفاذية عالية. الفولاذ له نفاذية أكثر من الفـراغ بعدة مرات ، والقلب الحديدي بذلك يعمل على خفض تيار المغنطة إلى حد كبيـر magnetizing current ، وحصر مسار الفيض الذي يعانق اللفات. في وقـت مبكر أدرك مطوروا المحول أن القلب المصنوع من الحديد الصلب يؤدي الى فقـد كبير ناتج عن التيارات الدوامية - ، والتخفيف من هذا التـأثير يـأتي باسـتخدام النماذج في هذا الصدد مع القلب الحديدي التي تتألف مـن حـزم مـن الأسـلاك المعزولة والحديد. في وقت لاحق التصاميم للقلب الحديدي التي شـيدت بواسـطة تنضيد طبقات رقيقة من الصلب المعزول ، وهو مبدأ والذي بقي قيد الاسـتخدام. كل رقيقة يتم عزلها عن جيرانها بواسطة طبقة رقيقة غير موصلة مـن العـزل. المعادلة العامة للمحول تشير إلى الحد الأدنى من لقطاعات القلب الحديدي لتجنـب التشبع.

اثر التصفيح(الترقيق) هو أن تقتصر التيارات الدوامية على مسارات عاليـة إهليليجية والتي تضم قليلا من الفيض ، وذلك يقلل من قيمتها. ترقيق التصفيح يحد من الفقد ، ولكنها شاقة و أكثر تكلفة في التصنيع. الرقائق الرقيقة تستخدم عادة في المحولات ذات التردد العالي ، مع بعض أنواع الرقائق الصلب الرقيقة جدا تكـون قادرة على العمل بتردد يصل إلى 10 كيلو هرتز.



شكل (I-7) المحول ذو القلب الحديدي الرقائقي

تظهر حافة الرقائق بأعلى المحول

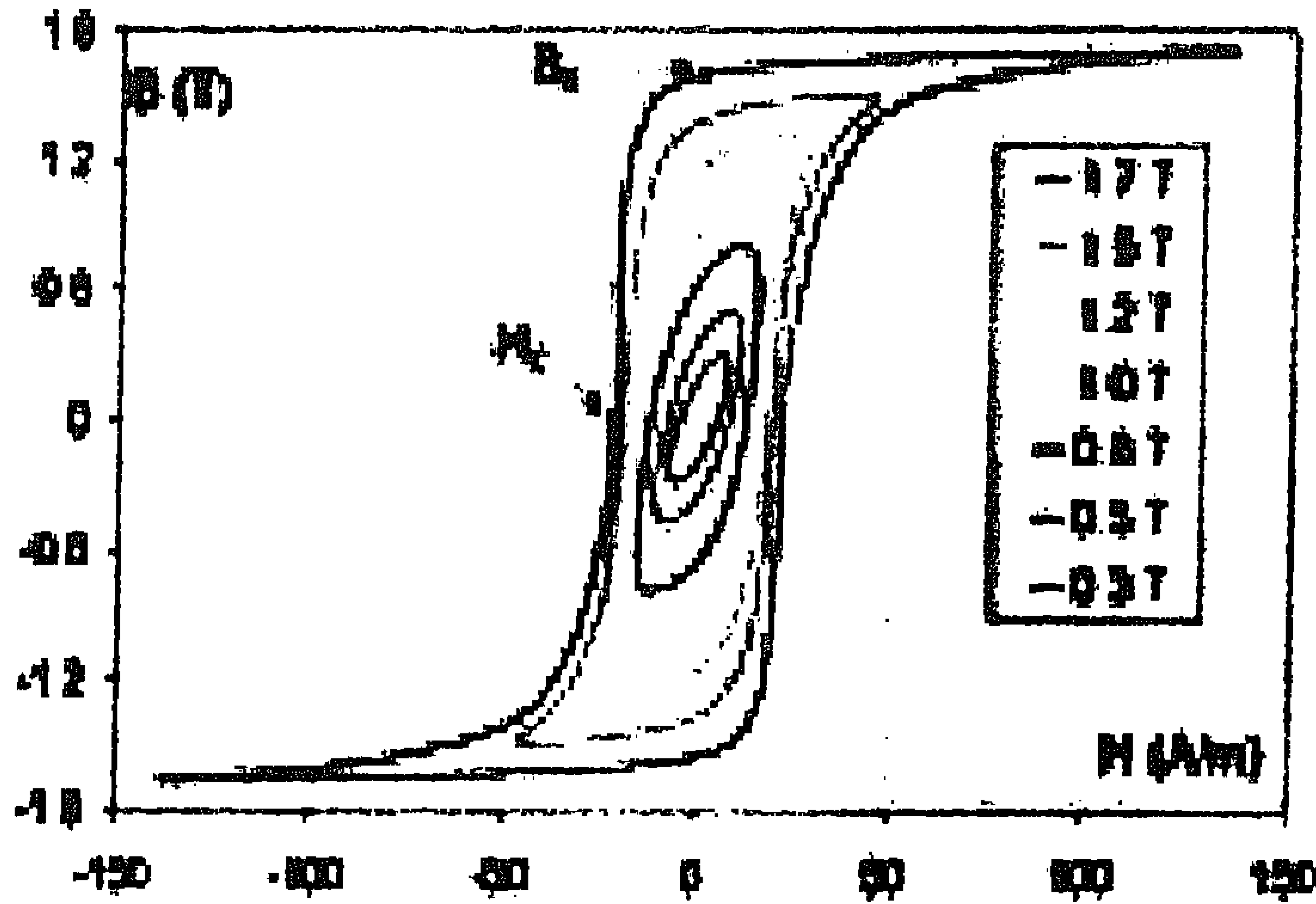
ترقيق القلب الحديدي تقلل إلى حد كبير - فقد التيارات الدوامية. من التصميمات الشائعة للقلب الحديدي الرقائقي يصنع من رقائق الصلب على شكل حرف E وتغطي بقطع على شكل I ، مما ادى إلى اسمها من "EI". مثل هذا التصميم يميل إلى مزيد من الفقد ، ولكنها اقتصادية للغاية في التصنيع. القلب الحديدي من النوع C الذي يصنع عن طريق لف شريط من الفولاذ على شكل مستطيل ثم ربط الطبقات معا. ومن ثم تجزيء الي قسمين ، مكونة جزئين علي شكل C، ويتم تجميعها قسمي القلب الحديدي بشريط من الصلب. ولها ميزة ان تدفق الفيض موجة دائما موازية لرقائق المعدن ، والحد من المعاوقة.

المغناطيسية المتبقية للقلب الحديدي يعني أنها تحتفظ بالمجال المغناطيسي ساكنة عند إزالة القدرة. عند إعادة القدرة من جديد بعد ذلك ، ما تبقى من المجال سوف تتسبب في ارتفاع تيار الاندفاع inrush current ، وعادة بعد بضع دورات

للتيار المتردد ينخفض اثر الفيض المغناطيسي المتبقي. تيار كهربائي عالي ويجب اختيار أجهزة حماية مثل الصمامات للسماح هذا التيار الضار بالمرورinrush .

المحولات الموصلة ، فوق خطوط نقل الطاقة الكهربائية والتيارات المستحثة تسبب الاضطرابات المغنطيسية الأرضية أثناء العواصف الشمسية يمكن أن يؤدي إلى تشبع القلب الحديدي وتشغيل أجهزة الحماية الخاصة بالمحول.

يمكن لمحولات التوزيع أن تحقق انخفاض حجم الفقد في حالة اللاحمل عن طريق استخدام القلب الحديدي من مادة منخفضة المفاقيد عالية النفاذية مثل الصلب السيليكوني أو سبيكة معدنية متبلورة (غير بلوريه). ارتفاع التكلفة الأولية لمواد القلب الحديدي يقابله علي المدى الطويل انخفاض حجم الفقد للمحول عند الأحمال الخفيفة.

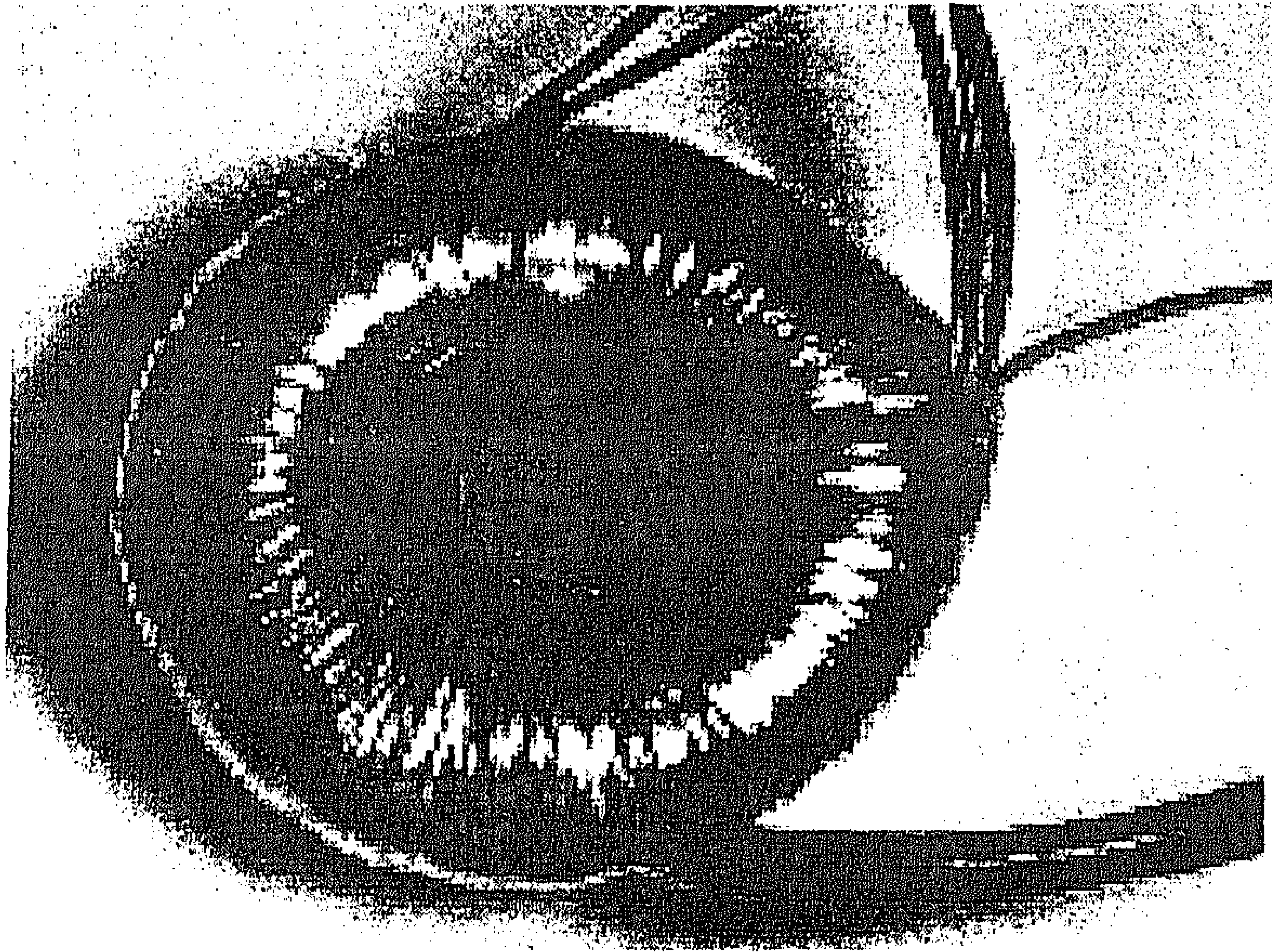


A family of hysteresis loops for grain-oriented electrical steel (B_R denotes remanence and H_C is the coercivity.

شكل (1-8)

القلب الحديدي الصلب Solid Cores

القلب الحديدي المسحوق التي تستخدم في دوائر (مثل أجهزة إمدادات الطاقة التي تعمل بنظرية المفتاح الالكتروني) التي تعمل بترددات عالية وتصل إلى بضع عشرات من كيلوهيرتز. تجمع هذه المواد بين النفاذية المغناطيسية العالية magnetic permeability و المقاومة النوعية الكهربائية المرتفعة electrical resistivity. للترددات ذات التردد العالي جدا تمتد إلى ما بعد النطاق الترددي VHF ، يصنع القلب من مواد خزفية غير موصل مغناطيسي تسمي ferrites. [33] بعض المحولات ذات الترددات الراديوية أيضا لها كور متحرك يسمح بتعديل وضبط معامل الاقتران (و عرض النطاق الترددي) و ضبطها الترددات اللاسلكية وللدوائر.



شكل (10-1) محول صغير له قلب حديدي حلقي

القلب الحلقي Torodial core

المحول الحلقي ويصنع هذا المحول حول قلب حديدي له شكل دائري ، ويعتمد علي التردد ، ويصنع من شريط طويل من الصلب السيليكوني أو الملف ملفوف حول مسحوق الحديد ، أو الفريت. بناء المحول علي شكل شريط يضمن ان الحدود هي الأمثل الانحياز ، وتحسين كفاءة المحول عن طريق تقليل المعاوقة المغناطيسية للقلب الحديدي. الشكل الدائري المغلق يزيل الفجوات الهوائية الكامنة في تركيب القلب الحديدي EI . مقطع الحلقة يكون عادة مربع أو مستطيل، و المقاطع الدائرية متاحة أيضا ولكنها أكثر تكلفة.

الملف الابتدائي والثانوي في كثير من الأحيان تلف بصورة مركزية لتغطية كامل سطح القلب الحديدي. وهذا يقلل من طول الأسلاك اللازمة ، وتوفر أيضا الفرز للتقليل إلى أدنى حد من المجال المغنطيسي في القلب الحديدي و تقليل التداخل الكهرومغناطيسي.

المحول الحلقي أكثر كفاءة من أنواع القلب الرقائقي EI والمماثل في مستوى القدرة والتي تعد ارخص ثمنا. مزايا أخرى بالمقارنة مع أنواع EI ، وتشمل صغر حجمها (حوالي النصف) ، وانخفاض الوزن (حوالي النصف) ، اقل آلية less mechanical hum (لجعلها متفوقة في مكبرات الصوت) ، وانخفاض المجال المغناطيسي الخارجي (حوالي عشر) ، وانخفاض حجم من الفقد عند اللاحمل (جعلها أكثر فعالية في الدوائر الاحتياطية) ، مسمار واحد للتثبيت ، واختيار المزيد من الأشكال. العيوب الرئيسية هي ارتفاع التكاليف ، والقدرة المقننة محدودة.

القلب حلقي الفريت تستخدم ترددات أعلى ، وعادة ما بين بضع عشرات من كيلو هرتز إلى ميجا هرتز في الثانية ، للحد من الفقد ،وصغر الحجم والوزن لأجهزة إمدادات الطاقة. من عيوب المحول الحلقي هو ارتفاع تكلفة اللفات. ونتيجة لذلك ، من غير المألوف أن تكون المحولات الحلقية أعلى قدرة من عدد

قليل من كيلو فولت أمبير. يمكن أن تحقق المحولات الصغيرة بعض فوائد القلب الحديدي الحلقي عن طريق شقها وفتحها، ثم إدراج بكرة تحتوي على الملفات الابتدائي والثانوي.

القلب الهوائي Air cores

القلب الحديدي ليست ضرورة مطلقة للمحولات و يمكن أن تنتج ببساطة عن طريق وضع اللفات على مقربة من بعضها البعض ، وهو ترتيب يطلق عليه " القلب الهوائي" للمحول. الهواء الذي يضم الدائرة المغناطيسية هو أساسا بلا فقد ، ولذلك القلب الهوائي للمحول يزيل المفاقيد الناتجة عن التخلفية في مواد القلب الحديدي. المحاثة تبادلية المتسربة لا مناص عالية ، مما يؤدى إلى تنظيم سيء ، ومثل هذه التصميمات غير ملائمة لاستخدامها في توزيع الطاقة. ولكنها ذات حزمه تردد عالية جدا ، وكثيرا ما تستخدم في تطبيقات الترددات الراديوية ، لذا معامل الربط يحفظ بعناية بحيث تتداخل لفات الابتدائي والثانوي.

يتركب المحول عموما من :

1- قلب حديدي مصنوع من رقائق من الألواح المصنوعة من الصلب السليكوني .

2- ملفين من الأسلاك الكهربية المعزولة احدهما هو الملف الابتدائي والآخر هو الملف الثانوي ويتم لفهما على جانبي القلب الحديدي.أي انه يمكن اعتبار المحول مكون من دائرتين إحداهما دائرة مغناطيسية والأخرى دائرة كهربية حيث يمثل القلب الحديدي الدائرة المغناطيسية وتمثل الملفات الدائرة الكهربية .

مما سبق يتضح الآتي :

إن جميع المحولات تحتوى على ملفات ابتدائية ولفات ثانوية وأن الملف الذي يدخل منه التيار هو الملف الابتدائي والذي يخرج منه التيار هو الملف الثانوي والأشكال التالية توضح أشكال المحولات من الخارج :

أولا: الشكل العام لمحولات الجهد والتردد المنخفض.

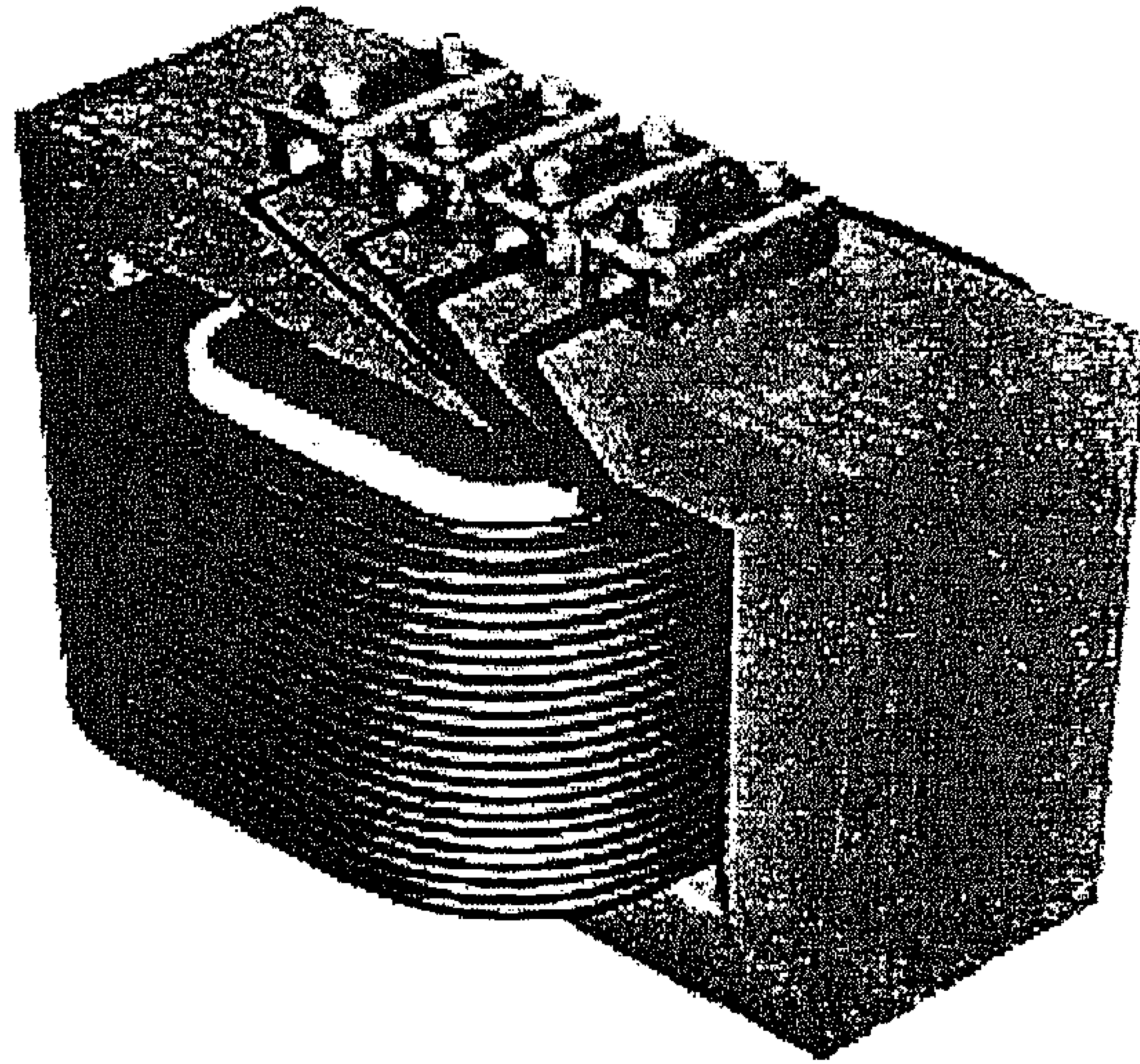
يتركب المحول من إطار من مادة عازلة على شكل اسطوانة أو مكعب أو متوازي مستطيلات أو دائري .

يلف على هذا الإطار سلك معزول من النحاس يتصل بالمنبع يسمى "بالملف الابتدائي " ويلف فوقه أو تحته أو إلى جواره ملف آخر نحصل منه على الجهــد المطلوب يسمى " الملف الثانوي " .

قد يوجد أكثر من ملف ثانوي واحد في بعض المحــولات خـصوصا فــي المحولات التي تستخدم في مجال الإلكترونيات .

وقد يصنع قلب المحول من شرائح حديدية معزولة وقد يصنع من مــسحوق الحديد ، وقد يكون قلب المحول هوائيا .

توضع المحولات ذات القدرة العالية في زيت لتبريدها ، أما محولات القدرة المستخدمة في الإلكترونيات فان قدرتها محدودة ولذلك لا تحتاج إلــى مثــل هــذا النوع من التبريد .



شكل (1-11) ترتيب اللفات وعادة ما تكون بصورة مركزية للحد من تدفق التسرب

المواد المستخدمة في صنع الملفات تعتمد علي التطبيقات ، ولكن في جميع الحالات يجب أن تكون اللفة المفردة منعزلة كهربائيا عن بعضها البعض لضمان أن ينتقل التيار في جميع أنحاء كل لفة. للمحولات الصغيرة ومحولات الإشارة ، والتي فيها التيارات صغيرة وفرق الجهد بين اللفات المجاورة صغيرا ، في كثير من الأحيان تصنع الفائف من الأسلاك مطلي المغناطيس ، مثل الأسلاك formvar. محولات القدرة الكبيرة والعاملة على جهود مرتفعة قد تكون اللفات مصنوعة علي شكل شريط مستطيل من النحاس معزول بورق من الزيت oil-impregnated paper

ومحولات التردد العالي التي تعمل في عشرات إلى مئات من كيلوهيرتز ، غالبا ما تصنع اللفات من الأسلاك braided litz للتقليل من الأثر الجلدي إلى أدنى حد ومفقودات اثر التقارب. محولات القدرة الكبيرة يستخدم فيها الأسلاك المتعددة المجدولة أيضا. كل خصلة معزولة على حده ، وهي مرتبة بحيث انه عند نقطة معينة في ملف ، أو في جميع أنحاء الملف ، كل جزء يحتل مواقع نسبية مختلفة في الموصل الكامل. اختلاف المواقع يعادل التيار الذي يتدفق في كل خصلة من الموصل ، ويقلل من الفقد الناتج عن التيارات الدوامية في الملف نفسه. و الموصل المجدول أيضا أكثر مرونة من موصل الصلب والمماثل له في الحجم ، والصنع . ويمكن ترتيب اللفات بطريقة ما للحد من محاثة التسرب والسعة العابرة لتحسين الاستجابة عالية التردد. ويمكن ان يتم ذلك عن طريق تقسيم كل ملف إلى أقسام ، والأقسام توضع في طبقات بين الأقسام من ملفات أخري. وهو ما يعرف باللف التبادلي.

اللفات في المرحلتين الابتدائية والثانوية في محولات الطاقة قد يكون لها وصلات خارجية ، ويطلق عليها taps ، وهي تكون نقاط وسيطة للسماح باختيار نسبة من الجهد. النقاط قد تكون مرتبطة بمغير جهد اوتوماتيكي لتنظيم الجهد وتوزيع الدوائر. محولات الترددات الصوتية ، تستخدم لتوزيع الصوت ومكبرات

الصوت لمخاطبة الجمهور ، لها نقاط تسمح بتعديل المعاوقة الكهربائية لكل متكلم. المحول ذو نقاط في المركز كثيرا ما يستخدم في مرحلة الخرج من مراحل أي مكبر القدرة للصوت في دائرة دفع- سحب.

بعض المحولات لها اللفات التي تحميها مادة راتنج الابوكسي. عن طريق التلقيح المحول مع الابوكسي تحت فراغ ، يمكن ان يحل الابوكسي محل الهواء داخل في اللفات ، وبالتالي عزل اللفات والمساعدة على منع تشكيل ظاهرة الكورونا واستيعاب المياه أو الأتربة. وتنتج هذه المحولات أكثر ملائمة للرطوبة أو البيئات المتربة ، ولكن في زيادة تكاليف التصنيع.

أطراف المحولات

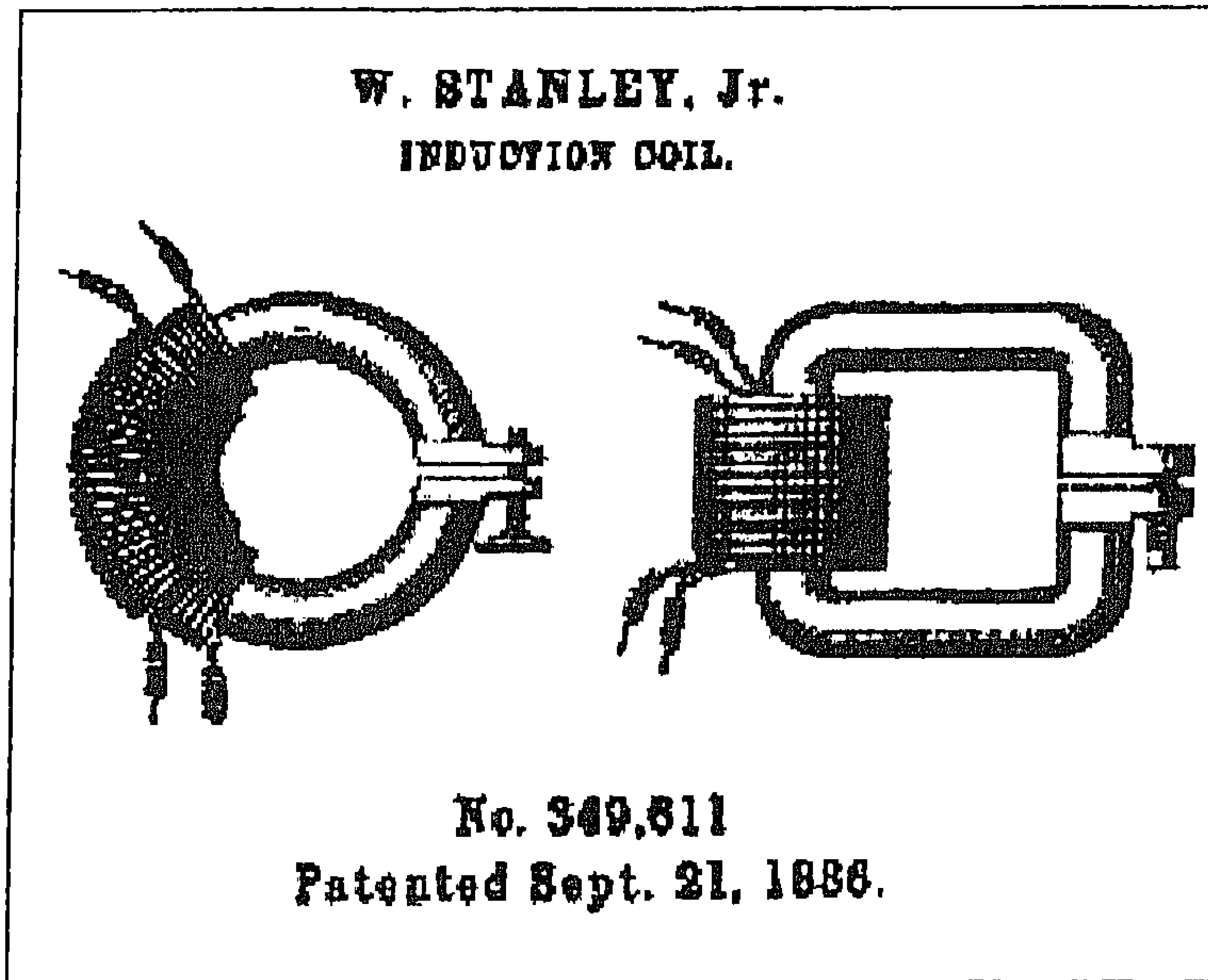
المحولات الصغيرة جدا، تكون الأسلاك متصلة مباشرة إلى أطراف الملفات ، وتوصل إلى قاعدة التوصيلات للدائرة الكهربية. المحولات الكبيرة قد يكون لها اكبر أطراف كبيرة و قضبان عالية الفلطية والبطانات المعزولة المصنوعة من البوليمرات أو الخزف. البطانة الكبيرة يمكن أن يكون لها هيكل معقد لأنه يجب أن توفر مراقبة دقيقة لانحدار المجال الكهربائي دون السماح للمحول بتسرب الزيت.

تاريخ و نشأة المحولات

نظرية المحول من حيث المبدأ قد ثبتت في 1831 من قبل مايكل فاراداي ،و على الرغم من انه استخدمها فقط لإثبات مبدأ الحث الكهرومغناطيسي ولا يتوقـــع الاستخدامات العملية. أول محول يستخدم على نطاق واسع هو ملف الحث ، الذي اخترعه رجل الدين نيكولاس كالين Nicholas Callan الايرلندي فـــي 1836. وكان واحدا من أول من فهم مبدأ كلما كثرت عدد لفات المحولات كلما زادت القوة الدافعة المستحثة الناتجة emf. وتطور الجهود من العلماء للحصول علـــى أعلـــى الجهود من البطاريات. إنها لا تعمل بالطاقة من جانب تيار متـــردد ، لكـــن تيـــار مستمر من البطاريات والذي يقطع عن طريق ميكانيزم التذبـــذب . بـــين 1830

و1870 ، الجهود الرامية إلى بناء أفضل ملف حثي ، ومعظمهـا عـن طريـق التجربة والخطأ ، ببطء تم كشف مبادئ تشغيل المحول. كفاءة التصاميم لم تظهر حتى 1880 s، ولكن في غضون أقل من عقد من الزمن ، وكان المحول خـلال "حرب التيارات" في رؤية نظم التيار المتردد الانتصار على نظيره التيار المباشـر ، وهو الموقف الذي ظلت فيه مهيمنة .

اخترع المهندس الروسي بافل يابلوكوف yablochkov فـي 1876 نظـام إضاءة قائم على مجموعة من الملفات الحثية ، حيث تم توصيل الملفات الابتدائيـة إلى مصدر التيار المتردد و اللفات الثانوية تكون موصلة بعدة شموع الكهربائيـة. براءة الاختراع تنص علي انه يمكن للمنظومة توفير إمدادات مستقلة لعدة تركيبات إضاءة مع اختلاف كثافة الإضاءة من مصدر واحـد للطاقـة الكهربائيـة. ومـن الواضح أن إدخال الملف الحثي في هذا النظام ليعمل بوصفه محول.



A historical Stanley transformer.

شكل (1-12) محول ستانلي التاريخي

لوسيان جاولارد وجون ديكسون جيبس ، أول من أظهر الجهاز مفتوح القلب الحديدي يسمى ' مولد الثانوية ' في لندن في عام 1882 وباعوا بعد ذلك الفكرة إلى الشركة الامريكية ويستنغهاوس. كما أنها عرضت الاختراع في تورينو في عام 1884 ، حيث تم اعتماد الاختراع لنظام الإضاءة الكهربائية.

ويليام ستانلي ، مهندس لويستنغهاوس ، الذي بني أول جهاز تجاري في عام 1885 بعد أن اشتري جورج ويستنغهاوس براءات الاختراع من جاولارد وجيبس. وقد صنع القلب الحديدي من لوحات متشابكة من الحديد على شكل حرف E. هذا التصميم استخدم تجاريا لأول مرة في 1886. المهندسين المجريين Zipernowsky ، و Déri من شركة غانز في بودابست التى صنعت بكفاءة نموذج القلب الحديدي المغلق "zbd" – في عام 1885 على اساس تصميم جيبس و جاولارد. وقدموا طلب الحصول على براءة الاختراع الأولى و استخدام كلمة "محول".

المهندس الروسي ميخائيل دوليفو - Mikhail Dolivo هو أول من طور محول ثلاثي الأوجه في عام 1889. وفي عام 1891 ابتكر تيسلا ملف تيسلا Tesla ، وهو ذو قلب هوائي ، محول الرنين مزدوج التوافق لتوليد عالية جدا في الجهود ذات تردد عال. محولات الترددات السمعية (في ذلك الوقت تسمي ملفات التكرار) استخدمت من قبل أقدم المجربون في تطوير الهاتف. وفي حين أن التكنولوجيا الجديدة جعلت المحولات في بعض التطبيقات والالكترونيات عفا عليها الزمن ، إلا انه لا تزال المحولات موجودة في العديد من الأجهزة الالكترونية. فالمحولات أساسية لنقل الطاقة الكهربائية ذات الجهد العالي، مما يجعل من نقل الطاقة لمسافات طويلة عمليا من الناحية الاقتصادية.

مكونات المحول

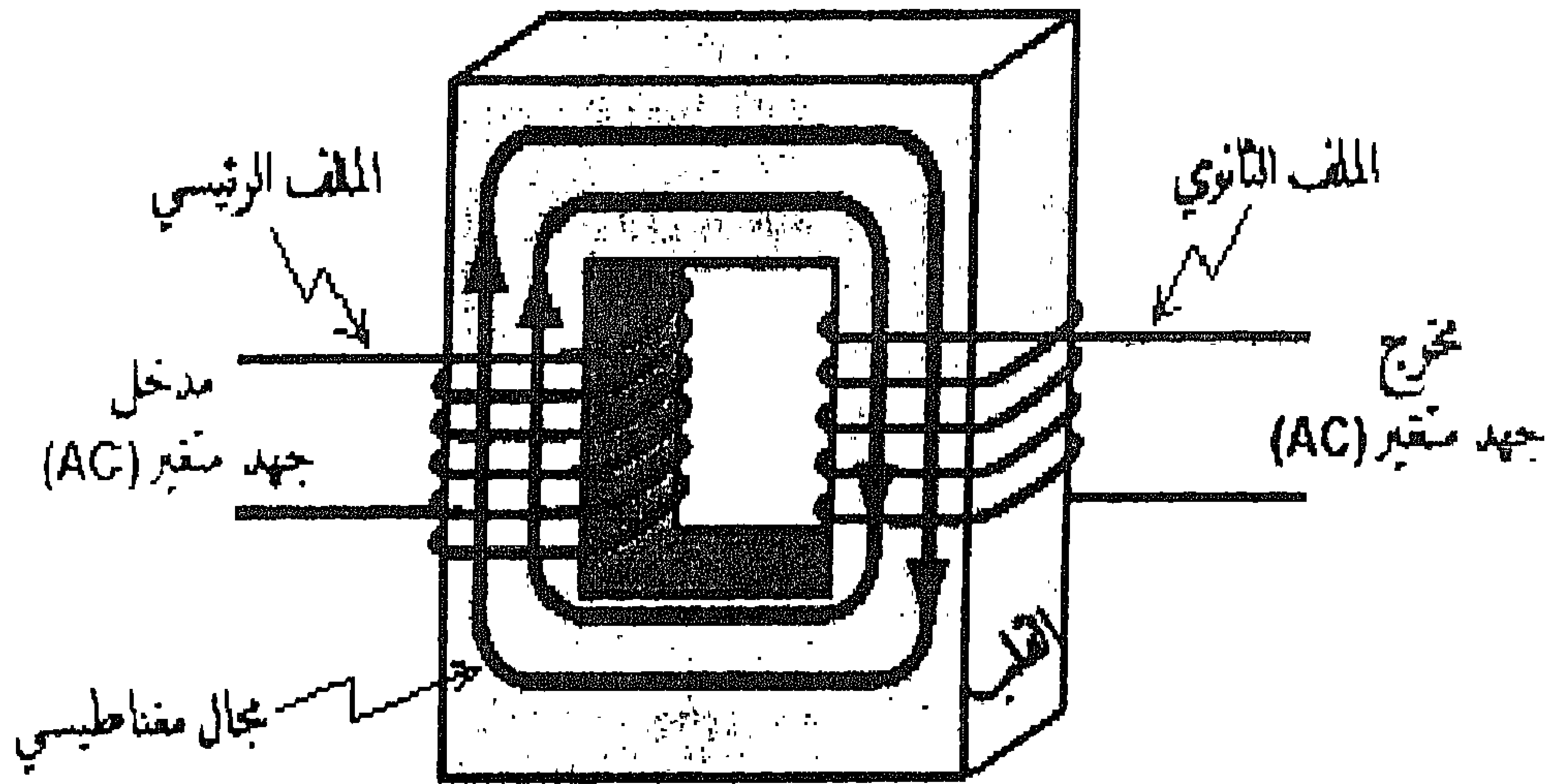
يتكون المحول من الأجزاء الرئيسية التالية:

القلب وهو عبارة عن قطعة من الحديد .

الملف الرئيسي: ويمثل مدخل المحول .

الملف الثانوي: ويمثل مخرج المحول .

والملفان الرئيسي والثانوي عبارة عن سلكين ملفـوفين علـى القلـب ولا يلامسان بعضهما البعض.



شكل(1-13) رسم تخطيطي للمحول

تستخدم المحولات لرفع أو خفض الجهد أو التيار في الدوائر الكهربائيـــة. و تعتمد المحــولات علــى مــا يــسمى بخاصــية الحــث التبــادلي (Mutual Inductance)في عملها ولذلك سنعطي شرحا للحث التبادلي قبــل أن نعطــي تفاصيل المحول لأنه لا يمكن فهم عمل المحول بدون الاستيعاب الكامــل للحــث التبادلي .

الحث التبادلي (Mutual Inductance)

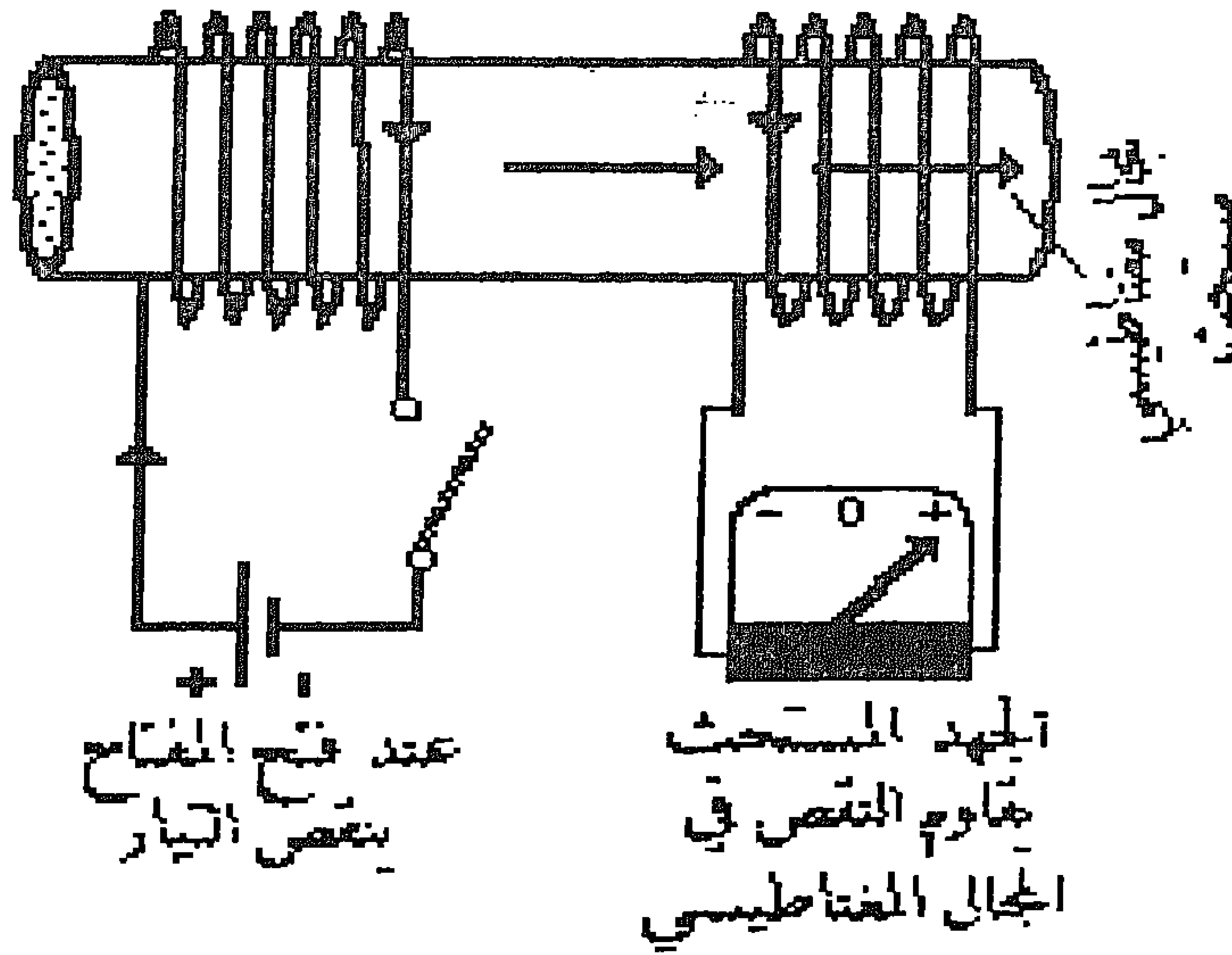
شرحنا سابقاً في قسم الأساسيات بأن الملف (inductor) هـــو أداة تقـــوم بمقاومة التغير في التيار بغض النظر عن اتجاه هذا التيار. وعرفنا الحث الـــذاتي للملف بأنه قدرة الملف على إيجاد جهد فيه ليقاوم أي تغيير فـــي التيـــار الـــساري فيه.

كما أنه عندما يمر تيار متردد (AC) فـــي الملـــف فإنـــه ســـينتج مجـــال مغناطيسي حول هذا الملف. فإذا ارتفع التيار ازدادت مسافة المجال المغناطيـــسي حول الملف وإذا قل التيار قلت المسافة حول الملف.

عندما نضع ملفاً آخر داخل هذا المجال المغناطيسي الذي يـــزداد ويـــنقص فإن هذا المجال المغناطيسي سوف يولد تيارا في الملف الثـــاني وهـــذه الخاصـــية تسمى بالحث التبادلي (Mutual Inductance)

لاحظ أن التيار المتردد الذي يصل إلى بيوتنا هو ذو تردد يبلغ 50 أو 60 هيرتز. معنى ذلك أن هذا التيار عندما يمر في ملف فإنه يرتفع ويقـــل 50 أو 60 مرة في الثانية. وبالتالي فإن المجال المغناطيسي في الملف ســـيزداد ويـــنقص 50 أو 60 مرة في الثانية فهو إذا مجال مغناطيسي متغير.

ولإيضاح هذه الخاصية تخيل الملفين التاليين كما هو موضح في شكل (1-15)، لو مررنا تياراً ثابتا (DC) في الملف الأيسر فسينتج مجالا مغناطيـــسيا فـــي الملف الأيمن ولكن هذا المجال المغناطيسي مجال ثابت غير متغير لأنه ناتج عـــن تيار ثابت. ولذلك لن ينتج عن ذلك أي جهد في الملف الأيمن.



شكل (I-14) خاصية الحث التبادلي

الآن لو فتحنا المفتاح لإيقاف التيار فإن المجال المغناطيسي سيتغير في الملف الأيمن وسينتج عن ذلك جهد يسمى بالجهد المستحث (induced voltage) مما يتسبب في سريان تيار في الملف الأيمن. وكما ذكرنا سابقا فإن الملف يقاوم أي تغيير ولذلك فإن اتجاه هذا التيار سوف يكون بطريقة بحيث يحاول إبقاء المجال المغناطيسي كما هو بدون تغيير.

والآن ماذا سيحدث لو أننا أغلقنا المفتاح مرة أخرى بعد أن يتوقف التيار ؟ سيزداد التيار في الملف الأيسر طبعا وسيحاول الملف الأيمن إبقاء المجال المغناطيسي كما هو ولذلك سيتولد فيه تيار معاكس ينتج عنه إيجاد مجال مغناطيسي معاكس وذلك لمقاومة الزيادة في المجال المغناطيسي.

حقيقة أن أي تغيير في التيار في الملف الأيسر يؤثر في التيار والجهد في الملــف الأيمن هي في الواقع ما يسمى بالحث التبادلي (Mutual Inductance) .

إذا يمكن أن نعرف الحث التبادلي بأنه الخاصية الكهربائيــة التــي تمكــن التيار الساري في سلك أو ملف من إيجاد تيار في سلك أو ملــف آخــر قريــب منه. وهذه الخاصية هي التي يعتمد عليها المحول في عمله .

فكرة عمله :

الحث الكهرومغناطيسي ـــ من إحدى المزايا الهامة للتيار المتردد مقارنــة بالتيار المستمر هي أن المتردد يمكن تغيير فلطيته ـ جهده ـ بــسهولة بواســطة الحث الكهرومغناطيسي في حين أن التيار المستمر يحتاج إلى طرق معقدة حتــى يمكن تغيير فلطيته .

التركيب :

ملف ابتدائي ـــ ملف من سلك نحاسي معزول يتصل طرفاه بدائرة التيــار المتناوب .

ملف ثانوي ـــ ملف معزول يتصل طرفاه بالدائرة المراد إمدادها بــالقوة الدافعة الناتجة ـ المستهلك .

القلب الحديدي :

قلب مغلق مصنوع من مادة فيرومغناطيسية ـ حديد مطاوع سـليكوني ـ شرائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض وذلك للحد من التيارات الدوامية

شرح عمله :

يوصل طرفا الملف الابتدائي بمصدر التيار المتردد ويوصل الملف الثانوي بالجهاز المستهلك للطاقة الكهربية.

عند غلق دائرة الملف الثانوي فان التيار المار في الملف الابتدائي يحــدث سيلا مغناطيسيا متناوبا في القلب الحديدي يولد في كل لفة من كلا الملفين ق ـ د ـ ك ـ واحدة للحث فإذا كان في الملف الابتدائي عدد ـ و1 ـ من اللفات وفي الملف الثانوي عدد ـ و2 ـ من اللفات فان القوة الدافعة الكهربية التأثيرية في كلا الملفين تكون متناسبة طرديا مع عدد اللفات فيهما .

عند فتح دائرة الملف الثانوي فان تيار الملف الابتدائي يكاد ينعـــدم حيـــث أن الحث الذاتي للملف الابتدائي يعمل على توليد تيار تأثيري عكـــسي يكـــاد يكـــون مساويا ومعاكسا للتيار الأصلي فينعدم التيار في الابتـــدائي ولا يحـــدث اســـتهلاك للطاقة .

يتركب المحول من إطار من مادة عازلة على شكل اسطوانة أو مكعـــب أو متوازي مستطيلات أو دائري . يلف على هذا الإطار سلك معزول من النحـــاس يتصل بالمنبع يسمى "بالملف الابتدائي " ويلف فوقه أو تحته أو إلى جواره ملـــف آخر نحصل منه على الجهد المطلوب يسمى " الملف الثانوي "

يتركب المحول عموما من:

1- قلب حديدي مصنوع من رقائق من الألواح المـــصنوعة مـــن الـــصلب السليكوني.

2- ملفين من الأسلاك الكهربية المعزولة احدهما هو الملف الابتدائي والآخر هو الملف الثانوي ويتم لفهما على جانبي القلب الحديدي.

أي انه يمكن اعتبار المحول مكون من دائرتين إحداهما دائـــرة مغناطيـــسية والأخرى دائرة كهربية حيث يمثل القلب الحديدي الـــدائرة المغناطيـــسية و تمثـــل الملفات الدائرة الكهربية.

- تصنيف المحولات من حيث نسبة التحويل:

1. محولات رفع Step-up
2. محولات خفض Step-down

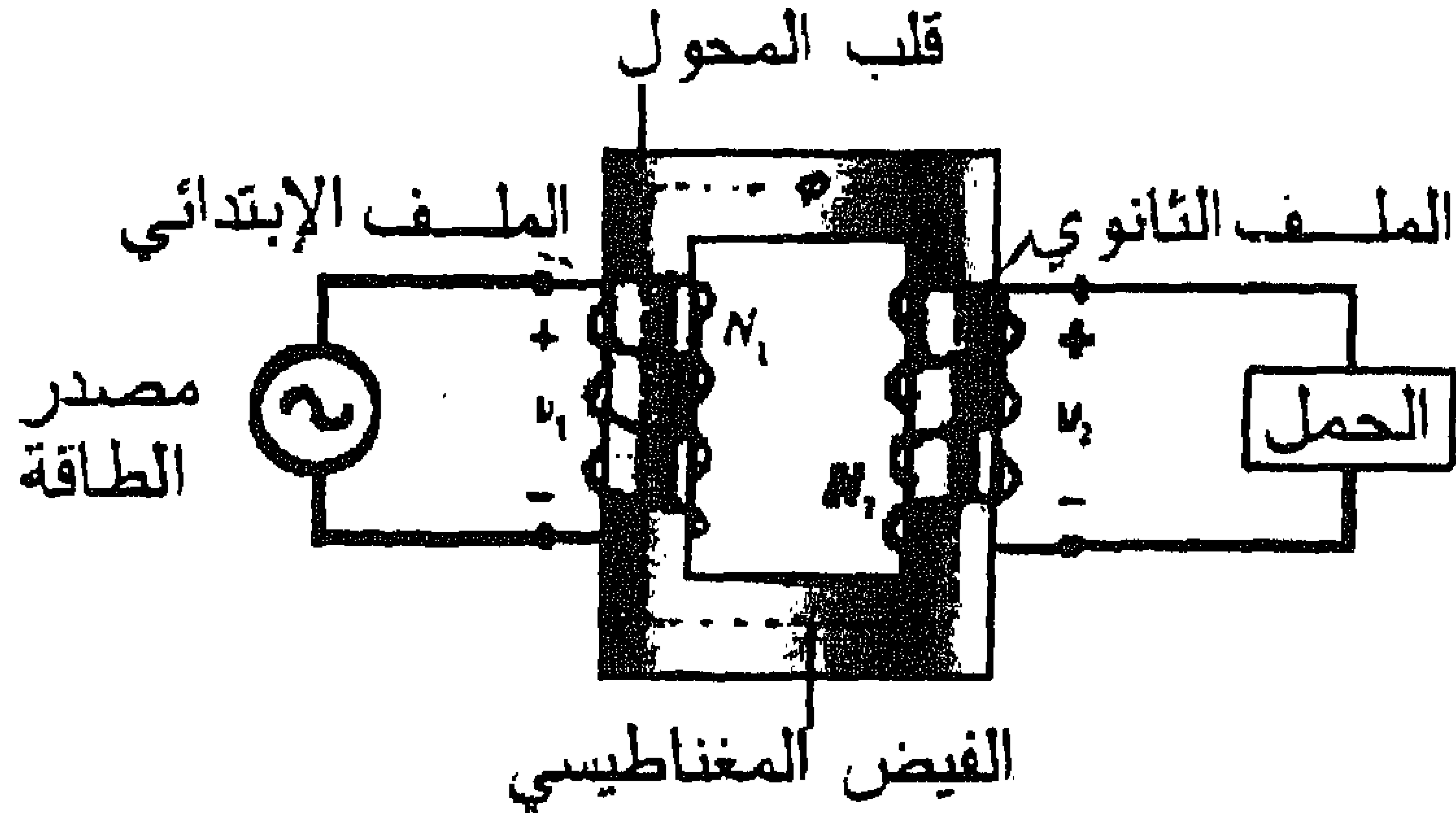
ملحوظة: أي محول يمكن أن يعمل كمحول خافض أو محول رافع اعتمادا على اتجاه التغذية و لا يوجد بين المحول الرافع أو المحول الخافض أي اختلاف في التركيب أو التصميم.

المحول الكهربي جهاز يستخدم لخفض أو رفع الضغط الكهربي، لكمية مـــن القدرة الكهربية . فبينما تقوم المولدات بتوليد القدرة الكهربائية عند ضغط لا يزيد

عادة عن 18 كيلو فولت، تنقل القدرة على ضغط تبلغ قيمته 500 كيلو فولت، كما هو الحال لكهرباء السد العالي بمصر، ومن ثم أصبح استخدام المحولات لازماً عند مستهلك القدرة الكهربية، لخفض ضغط النقل العالي بما يناسب أجهزة الاستهلاك.

ويتطلب الوصول إلى سعة عالية في نقل القدرة الكهربائية، وكذلك تقليل قيمة الفقد أثناء عملية النقل، أن تكون الفولتيات أو الجهود التي تنتقل بها القدرة ذات قيم عالية، وليس من الملائم، عملياً، توليد فولتيات ذات مقادير قد تصل إلــى المئــات من الكيلو فولت بوساطة المولدات المتزامنة مباشرة. وذلك لأن تخانة العزل تمنــع توليد جهد تزيد عن 25 ك فولت، ومن هنا لكي تتحقق الــسعات المطلوبــة فــي عملية نقل القدرة الكهربائية في الأنظمة الحالية والمستقبلية التي تستخدم فيها جهود تتراوح قيمتها بين 500 و1000 كيلو فولت، يأتي الدور الهام الــذي تقــوم بــه المحولات الكهربائية.

وتشترك المحولات في أنها تحتوي على ثلاثة أجــزاء رئيــسية داخلــة فــي مكوناتها كالآتي:



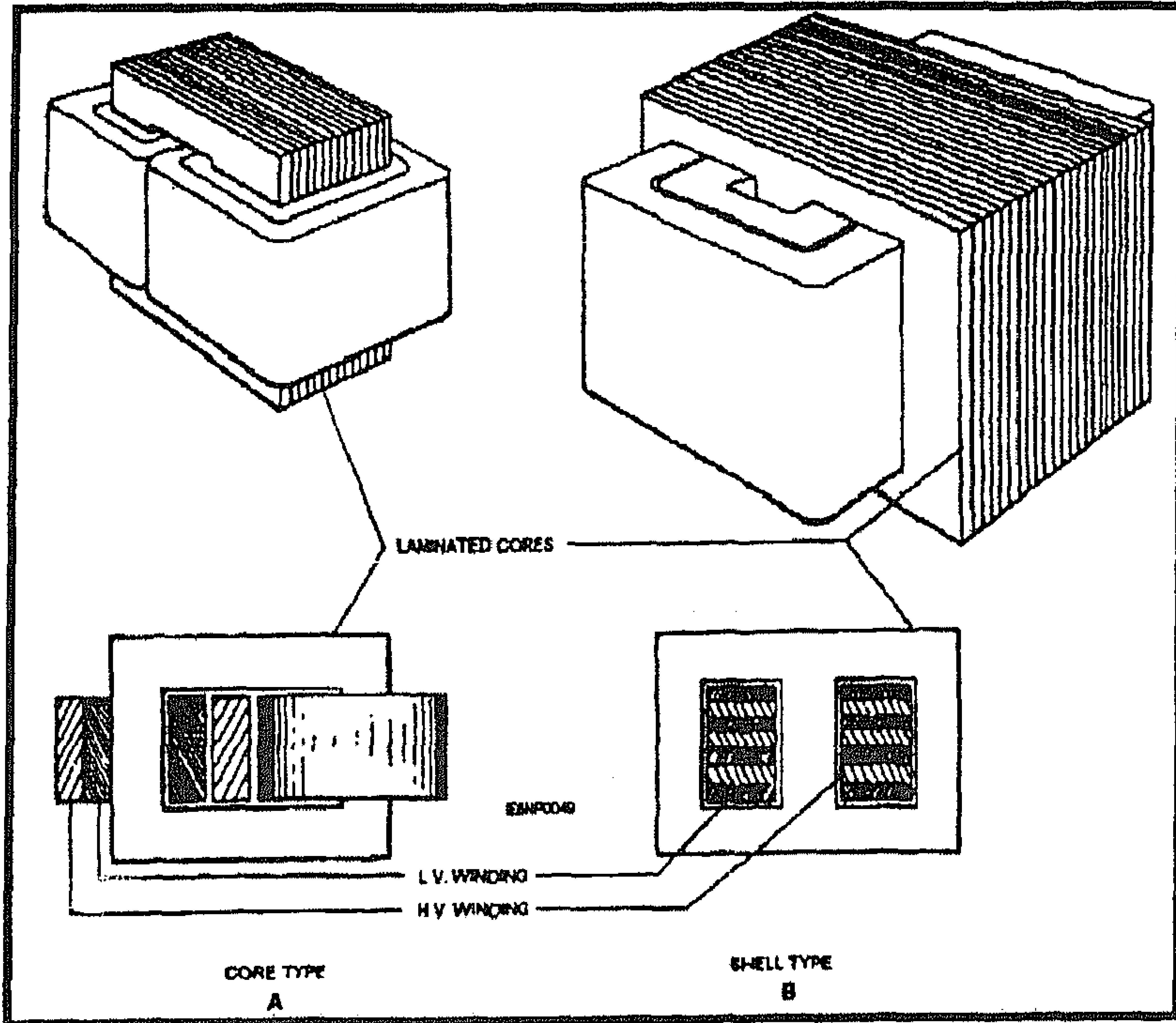
شكل (1-15) مكونات المحول الأساسية

1. الملف الابتدائي، حيث يستقبل الطاقة الكهربائية من المصدر.
2. قلب المحول، مادة مغناطيسية يتولد فيها فيض مغناطيسي متردد Φ.
3. الملف الثانوي، حيث يتولد فيه قوة دافعة كهربية ويتصل بالحمل الكهربي.

<u>أنواع القلوب المغناطيسية المستخدمة بمحولات القدرة :</u>

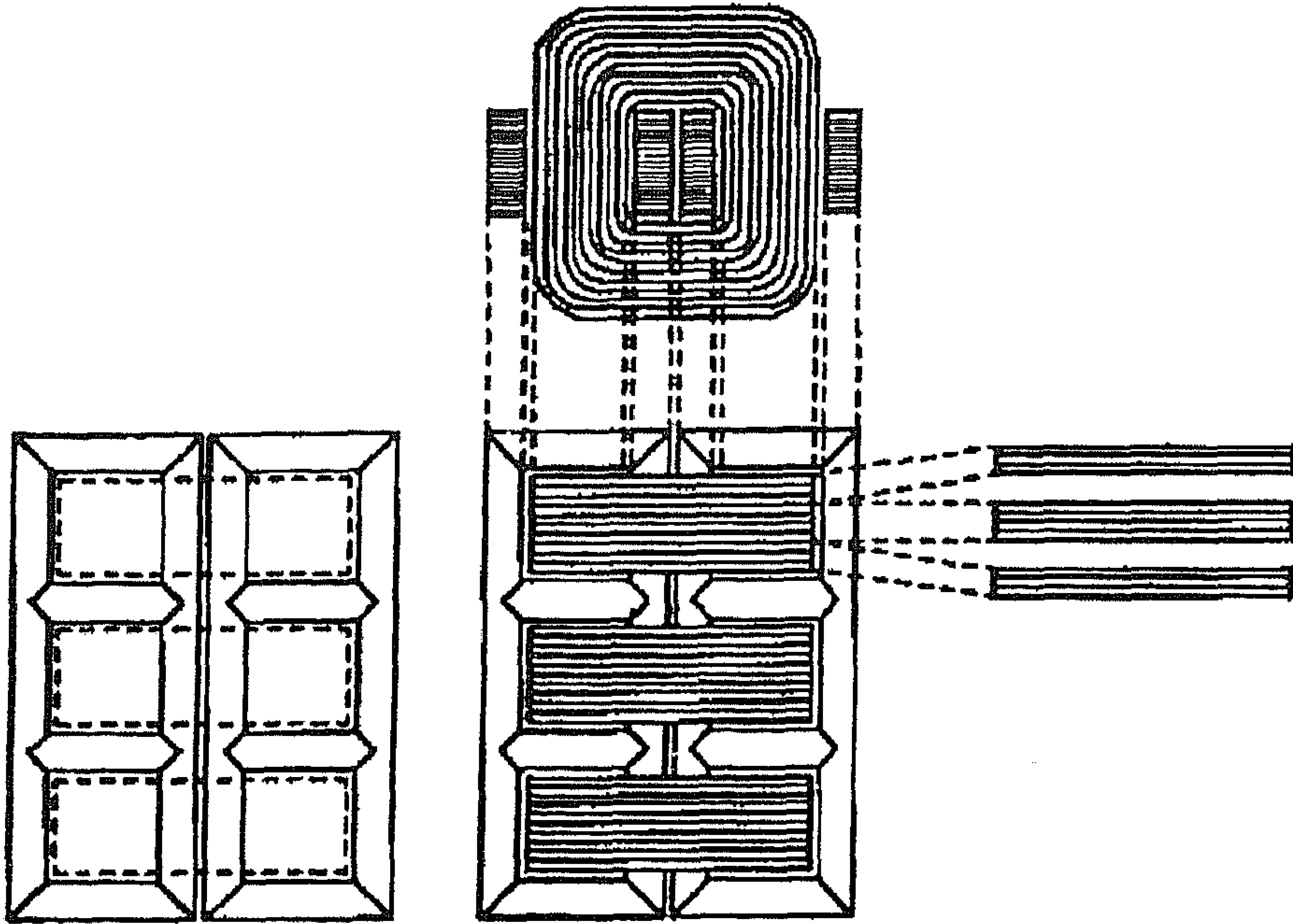
1- النوع الأول ويطلق علية Core type : ويصنع من حزمه من رقائق الحديـد على شكل مستطيلات كل منها مغطى بورنيش عزل ، ويتم ضغط هــذه الــشرائح معا ، وتثبت الملفات الابتدائية والثانوية كما هو موضح.

2- النوع الثاني هو الأكثر شيوعا لكفاءته العالية ويطلق عليه (shell type core) ويظهر في شكل (1-16) وشكل (1-17) ويصنع هذا النوع أيضا من الرقائق المغطاة بالورنيش والمضغوطة معا ، وتلف الملفات في شكل طبقات وتثبت على المقطع الداخلي من القلب .



شكل (1-16) أنواع تركيب المحول (أ) النوع القلبي Core type

(ب) نوع الصدفة Shell type



شكل (1-17) تركيب محول ثلاثي الاوجه من نوع الصدفة
Three-phase shell form transformer

ملاحـــظات :

- يمكن أن يحتوي المحول على أكثر من ملف ابتدائي أو أكثر من ملف ثانوي والتي تجمع كلها على قلب واحد.
- يمكن أن تحتوي بعض الملفات الثانوية على نقط تفرع وذلك للحصول على قيم متعددة في خرج المحول .

ثانيا : محولات التردد المتوسط (المحو لات ذات القلوب المصنوعة من مسحوق الحديد أو من مادة الفيرريت):

تستخدم محولات التردد المتوسط في الربط بين مكبرات التردد المتوسط في أجهزة الراديو والتلفزيون حيث تسمح لإشارة التردد المتوسط أن تنتقل من مرحلة الى أخرى وتحول دون انتقال الجهود المستمرة من مرحلة إلى المجاورة .

ومحولات التردد المتوسط عبارة عن محولات صغيرة الحجم عدد لفاتها قليلة نسبيا وتستخدم فيها قلوب من مسحوق الحديد أو من مادة الفيرريت ، هذه القلوب يمكن تحريكها إلى أعلى والى أسفل بواسطة مفكات بلاستيكية لضبط أو لتغيير حث هذه المحولات.

ثالثا : محولات التردد العالي (المحولات ذات القلوب الهوائية):

وفي ترددات الراديو نجد أن القلب الحديدي داخل المحول يسبب فقدا كبيرا في الإشارة لذا فانه لا يستخدم وإنما يستخدم في هذا النوع نظام القلب الهوائي أم أحد المعادن الخاصة المصممة لتحقيق أقل نسبة فقد.

أولا: المحولات الهوائية:

محول هوائي عادي Air Core Transformer

محول هوائي خافض Step-Down Air Core Transformer

محول هوائي رافع Step-Up Air Core Transformer

محـــول هـــوائي بموصـــل ابتـــدائي Transformer Air Core Tapped Secondary

محول هوائي بموصل ثانوي Primary Transformer Air Core Tapped

ثانيا: المحولات ذات القلب الحديدي

محول حديدي عادي Normal Iron Core Transformer

محول حديدي خافض Step-Down Iron Core

محول حديدي رافع Iron Core Step-Up

محول حديدي بموصل ابتدائي Primary Iron Core Tapped

محول حديدي بموصل ثانوي Iron Core Tapped Secondary

المراجع

1- Power Transformers Principles and Applications, John J. Winders, Marcel Dekker, Inc., 2002.

2- Electric power transformer engineering, edited by James H. Harlow, CRC press, 2004.

الفصــل الثاني

المحــــولات ثلاثيـــة الأطـــوار

الفصل الثاني
المحولات ثلاثية الأطوار

المحول الكهربي ثلاثي الأوجه (الأطوار)

يتم توليد الطاقة الكهربية في صورة جهود ثلاثية الطور بقيم تصل إلـــى 13 كيلوفولت و أحيانا إلى 35 كيلوفولت ، و يتم نقل الطاقة علي الخطوط و كـــابلات الجهد العالي بقيم تصل إلى 220 و 500 وأحيانا إلى 750 كيلو فولت ، و بالتـــالي يظهر الاحتياج إلى المحولات ثلاثية الأوجه لرفع قيمة جهد التوليد إلى جهد النقـــل و كذلك لخفض جهد النقل إلى قيم جهد التوزيع التي تصل إلى 66 ثـــم إلـــى 11 كيلو فولت.

وفي حالة نظم الاستخدام الكهربي بقيم جهد ثلاثي الأوجه 380 فولت ظهـــر المحول ثلاثي الأوجه كبديل لاستخدام عدد ثلاثة محولات أحادية الوجـــه و التـــي كان استخدامها شائعا في الماضي نظرا لقلة خبرة المـــشغلين بـــالمحولات ثلاثيـــة الأوجه. و من مزايا استخدام المحولات ثلاثية الأوجه احتياجها إلى مساحة أقـــل ووزن أقل و تكلفة أقل بنسبة 15% بالمقارنة بثلاثة محولات أحادية الوجه.

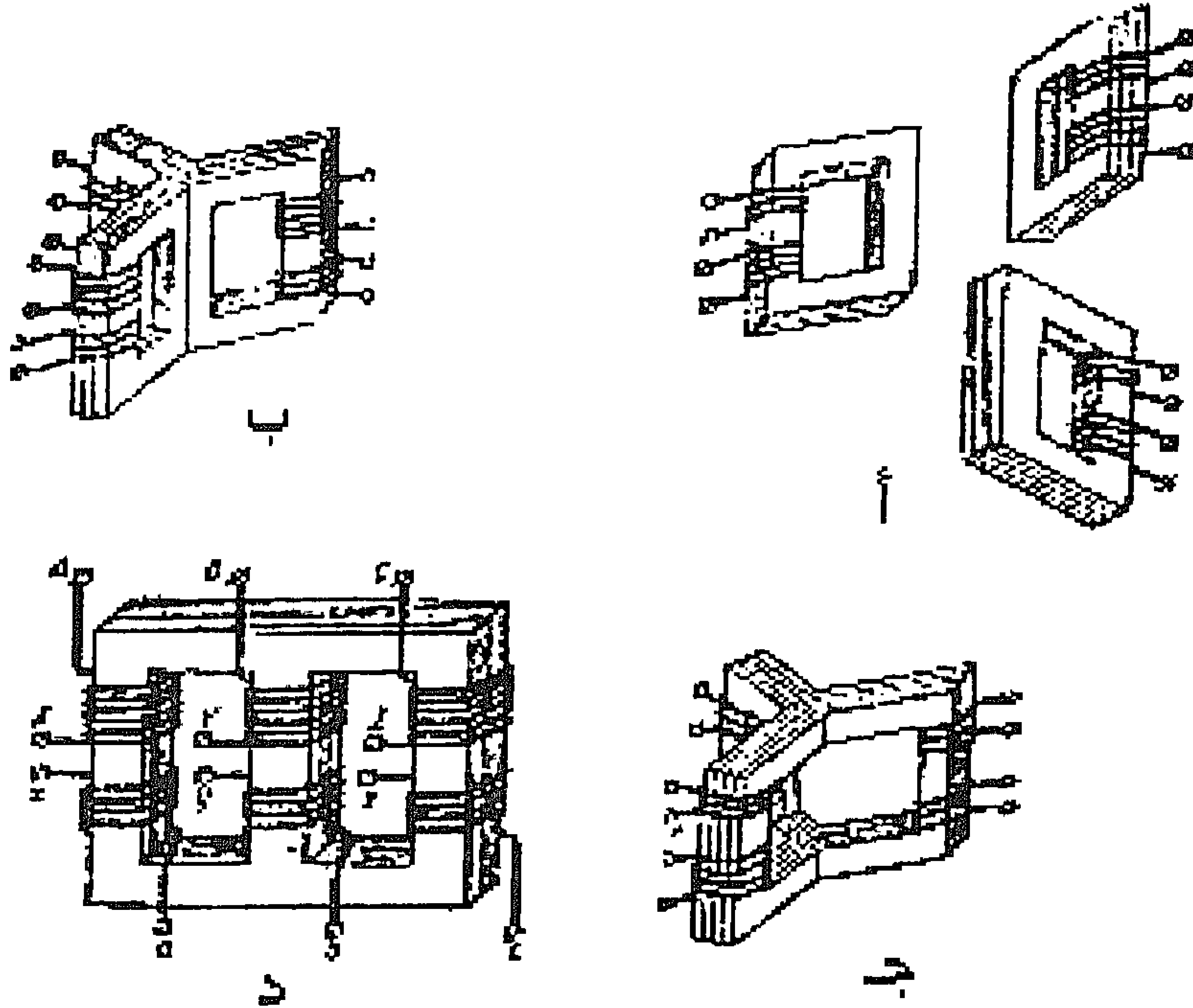
المحولات ثلاثية الأطوار تُحول القدرة ثلاثية الطور بطرق متعددة باســـتخدام المحولات أحادية الأطوار، وذلك باستخدام وحدات أحادية الأطـــوار ذات ثـــلاث لفائف توصل منفردة على التوالي. أو بوساطة وحدة واحدة باستخدام القلب ثلاثي الطور، الذي يمتاز باحتوائه على حديد أقل عن حالة ثلاث وحدات أحادية الأطوار وبالتالي توفر في التكاليف.

ويعطي المحول ثلاثي الأطوار دائماً زحزحـــة الطـــور للتيـــارات نفـــسها والفولتيات ونتيجة عملية مهمة لظاهرة زحزحة الطور يكون التشغيل على التوازي للمحولات ثلاثية الأطوار ممكناً فقط، إذا تساوت نـــسب التحويـــل فـــي المقـــدار وزحزحة الطور.

إن ما ذكرناه من قبل يخص المحولات الأحادية الطور والمحولات الثلاثية الأطوار وبمعني أدق ففي حالة المحولات الثلاثية الأطوار ينطبق كل ما ورد ذكره علي كل من أطوار هذا المحول المحمل تحميلا متماثلا والآن فقد حان الوقت لكي نتوقف علي خصائص تصميم المحولات الثلاثية الأطوار وتشغيلها.

ولتحويل نظام تيارات ثلاثي الأطوار يمكن أن نستعمل مجموعة من ثلاثة محولات أحادية الطور وتقوم هذه المحولات الثلاثية بالعمل كوحدة متكاملة ومن المنطق أن نتساءل عن إمكانية توحيد المحولات الأحادية الطور الثلاثة في جهاز واحد ثلاثي الأطوار محققين بذلك وفرا في المواد ولقد تمكن مخترع المحول الثلاثي الأطوار م. دوليفو- دوبروفولسكي من تحقيق هذا الغرض في عام 1891 . ولكي نظهر بوضوح . السبب المؤدي إلي توفير المواد عند صنع المحول ثلاثي الأطوار نتصور أننا وحدنا المحولات الثلاثة (الموضحة بالشكل 2-1) في المحول واحد ثلاثي الأطوار ، ففي هذه الحالة تبقي أجزاء القلوب التي توجد عليها اللفائف بدون حدوث أي تغير أما الجانب الأخر لكل من القلوب الثلاثة، فيتوحد علي هيئة موصل مغناطيسي واحد(2-1،ب).

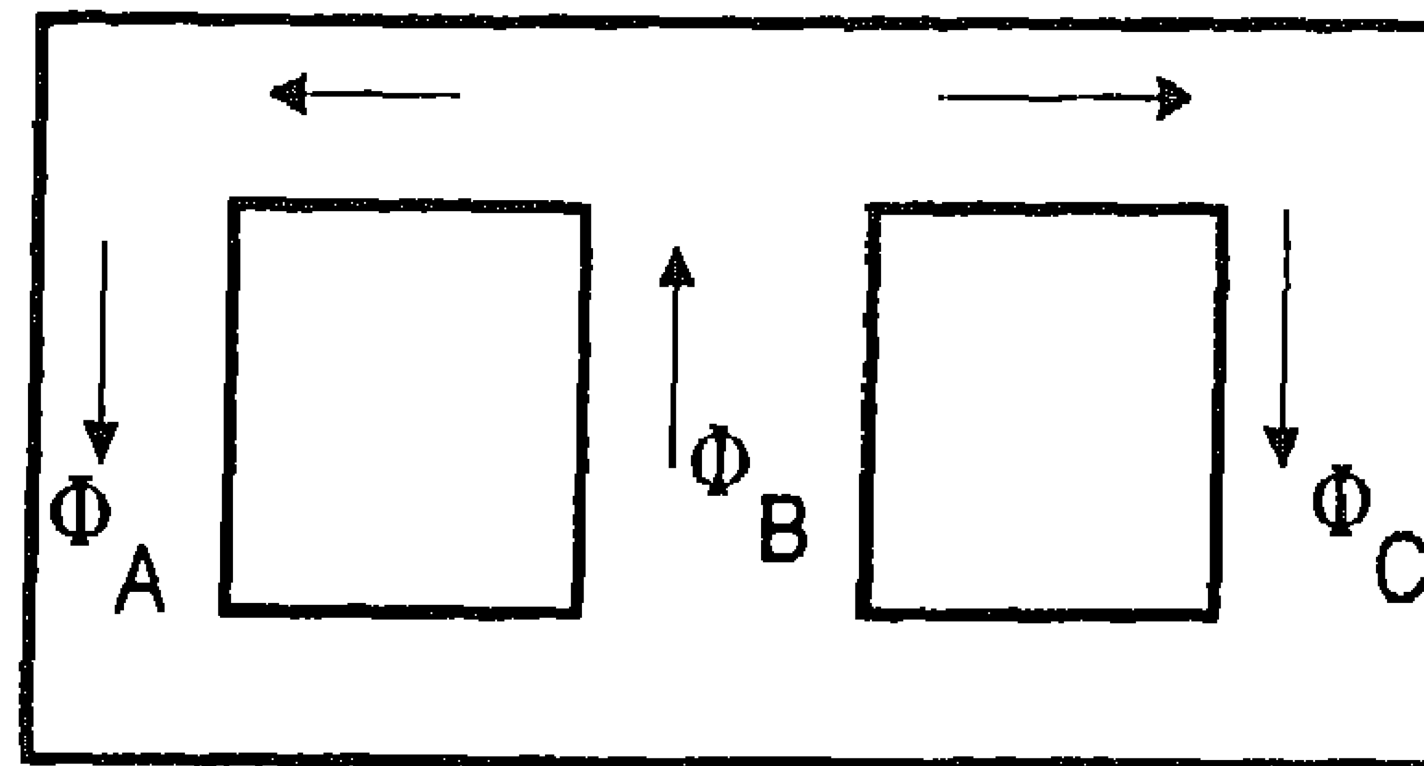
ويمكننا مقارنة هذا النظام المغناطيسي مع التوصيل النجمي لثلاث دوائر كهربائية . وليست هناك ضرورة لاستعمال السلك المتعادل في النظام الثلاثي الأطوار عندما يكون التحصيل متماثلا .وبالاستغناء عن هذا السلك نحصل علي وفر في النحاس المستعمل. ويتناظر العمود المتوسط المشترك في النظام المغناطيسي للمحول الثلاثي الأطوار مع السلك المتعادل. وعند وجود نظام تدفقات ثلاثي الأطوار ومتماثل يصبح هذا العمود غير لازم ويمكن التغاضي عنه (شكل 2-1 جــ) ، حيث أن المجموع الجبري لهذه التدفقات يساوي صفر دائما. ويمكننا اعتبار أن التدفق في صلب المحول يتناسب مع الجهد تناسبا طرديا ويتخلف عنه من حيث الطور بزاوية قدرها 90 تقريبا.

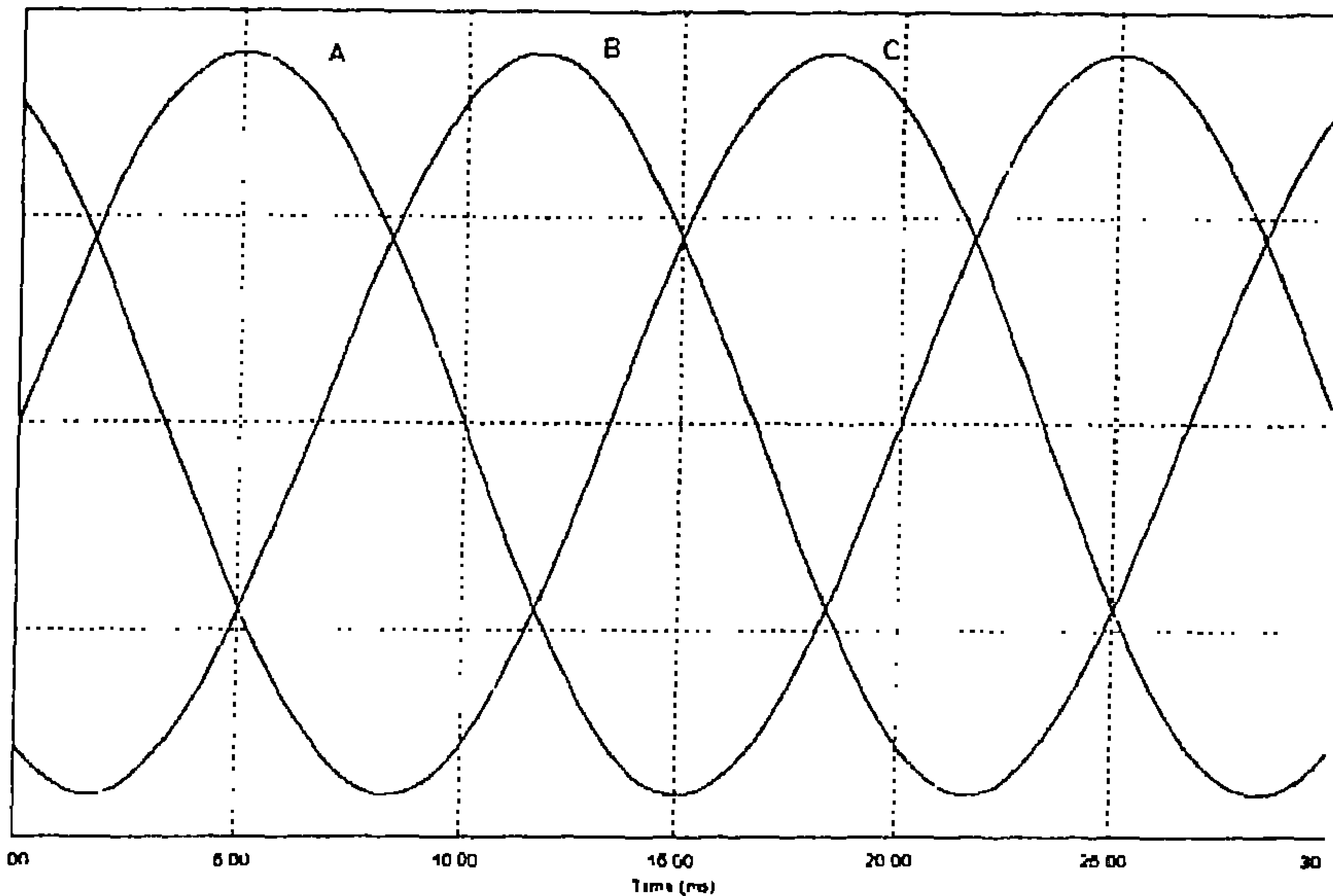


شكل (2-1) تحويل ثلاثة محولات أحادية إلى محول ثلاثي الأطوار

وبالتالي فإن الجهود الابتدائية الثلاث في النظام الثلاثي الأطوار تكون ثلاث تدفقات متساوية في السعة أي القيمة القصوى ومزحزحة في الطور كل عن الأخرى بمقدار ثلث الدورة (120°) ويكون مجموع هذه التدفقات الثلاثة في العمود المشترك من القلب المغناطيسي مساويا للصفر مما يمكننا من التخلص منه. وبما أنه من الصعب صنع القلب المتماثل المبين بالشكل 206- جـ فانه يمكن استبداله بقلب غير متماثل شكل 206- د ويمكننا النظر إلى هذا القلب غير المتماثل على انه عبارة عن صورة معدلة للقلب المبين بالشكل 206- جـ ، يقوم نظام الجهود الابتدائية الثلاثي الأطوار والمتماثل بإثارة نظام تدفقات مغناطيسية متماثل حتى في مثل هذا القلب المغناطيسي غير المتماثل ولكن التيارات الممغنطة عند ذلك لا تكون متساوية فيما بينها نتيجة لعدم تساوي المقاومات المغناطيسية. إلا أن عدم تماثل التيارات الممغنطة هذا ليست له أهمية في العلاقات الأساسية.

ومن الناحية الفيزيائية يقوم تدفق كل عمود في كل لحظة زمنية بتشكيل دوائر مغلقة في عمودي القلب الآخرين شكل 207 . وننوه بأن كل العلاقات المعلومة لدينا بالنسبة للمحول الأحادي تنطبق علي الجهد والتيار لكل طور في حالة التحميل المتماثل، ولا يحدث خلل بهذه الظروف إلا في حالة التحميل غير المتماثل لبعض دوائر توصيلات المحولات الثلاثية الأطوار وكذلك في بعض دوائر توصيل لفائف هذه المحولات.





شكل (2-2) التدفقات المغناطيسية في القلب ثلاثي الأطوار

وتكون تكاليف مجموعة المحولات المتكونة من ثلاثة محولات أحادية التطور أكثر من تكاليف المحول الثلاثي الأطوار مع تساوي القدرة في الحالتين. وتحتل مجموعة المحولات مكانا اكبر كما أن كفاءتها تكون اقل بعض الشيء، ولكن مع هذا ففي حالة مثل هذه المجموعة من المحولات يكفي أن يوجد لدينا محول واحد أحادي الطور كاحتياطي (قطعة غيار) يستعمل في حالة تعطل احد المحولات الثلاثة أو عند إصلاح احدها..وذلك لأنه من المستبعد أن تعطب المحولات الثلاثة في أن واحد . كما إن الصيانة الدورية لهذه المجموعة يمكن أن تتم لكل محول علي حده أما في حالة المحول الثلاثي الأطوار فيلزمنا محول آخر ثلاثي الأطوار كاحتياطي له. وبهذا فان لمجموعة المحولات ظروف تشغيل أفضل . كما أن نقل وتركيب ثلاثة محولات أحادية الطور في حالة القدرات العالية يكون ابسط بكثير من نقل وتركيب المحول الثلاثي الأطوار ذي القدرة العالية.

ويجب أن تحدد أطراف المحول الثلاثي الأطوار حسب المواصفات القياسية بترتيب الأطوار بحيث توجد في ناحية الجهد المرتفع أطراف بداية الملفات (C, B, A) ثم أطراف نهاية الملفات (Y, X Z,) أما في جانب الجهد المنخفض فتوجد أطراف (c, b, a) و (z, y, x) بالتناظر شكل 206-د. ويعتبر الاتصال النجمي وكذلك الاتصال المثلثي ، من الطرق الأساسية لتوصيل لفائف المحول الثلاثي الأطوار. ويرمز إلى طريقتي التوصيل هاتين بالرمزين Y و Δ. ويعتبر توصيل لفيفتي المحول بالتوصيل النجمي أكثر بساطة و أقل تكلفة.ويجب أن تحسب كل من اللفيفتين والمادة العازلة علي أساس جهد الطور وتيار الخط فقط وذلك عند تأريض نقطة التعادل تاريضا جيدا. وبما أن عدد لفات ملف المحول يتناسب مع الجهد تناسبا طرديا ، فان الاتصال النجمي يتطلب عددا اقل من اللفات في كل ملف وإن كان يتطلب في نفس الوقت زيادة في مقطع الأسلاك ذات المادة العازلة المطلوبة لجهد الطور. ويستعمل الاتصال النجمي لكل من ملفي المحول على نطاق واسع ، في حالة المحولات ذات القدرة الصغيرة والمتوسطة. ويعتبر

الاتصال النجمي هو الأفضل للجهد العالي لأن المادة العازلة تحسب على تحملها لجهد الطور فقط . هذا بالإضافة إلى أنه كلما ارتفع الجهد وقل التيار زادت تكاليف الاتصال المثلثي نسبيا.

ومن ناحية التصميم ، فمن الأفضل في حالة مرور تيارات عاليـــة الـــشدة ان نستعمل الاتصال المثلثي. لهذا السبب، فقد وجد التوصيل Y/ Δ أوسع انتشار فـــي المحولات العالية القدرة والتي لا يلزم فيها وجود سلك متعادل في جانـــب الجهـــد المنخفض.

ومن العلاقات السائدة في النظام الثلاثي الأطوار نجد أن النسبة بين فلطيات الأطوار هي الوحيدة في الحالة التحويل الثلاثي الأطوار التي تساوي تقريبا النسبة بين عدد لفات اللفيفتين الابتدائية والثانوية ω_1 / ω_2 ، أما فيما يخص فلطيات الخطوط فان النسبة بينهما تعتمد علي طريقة توصيل لفائف المحول . فعند استعمال نفس الطريقة في التوصيل في كل من لفيفتي المحول (Y-Y أو Δ-Δ) فان النسبة بين فلطيات الخطوط تساوي نسبة التحويل الطورية (في الطور)، أما عند اختلاف طريقة التوصيل (Δ - Y أو Y -Δ) فان النسبة بين فلطيات الخطوط تكون اقل أو اكبر من نسبة التحويل بمقدار $\sqrt{3}$ مرة . وهذا يمكننا من التحكم في فلطيه الخط الثانوية في المحول عن طريق تغير طريقة توصيل لفيفتية.

1. تركيب المحولات ثلاثية الأوجه:

يتركب المحول عموما من:

1- قلب حديدي مصنوع من رقائق من الألواح المصنوعة من الصلب السليكوني.

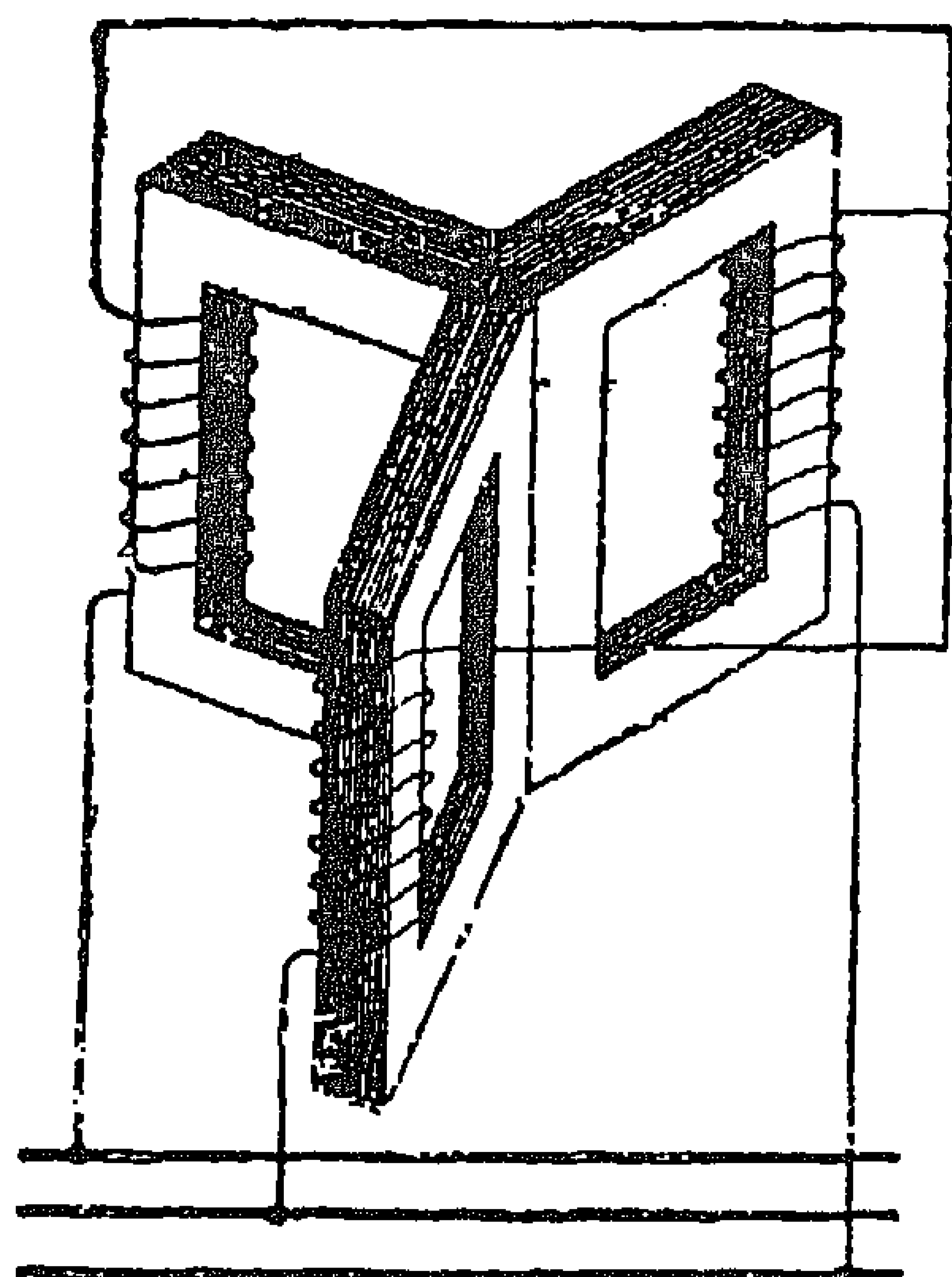
2- ملفين من الأسلاك الكهربية المعزولة احدهما هو الملف الابتـــدائي والآخر هو الملف الثانوي ويتم لفهما على جـــانبي القلـــب الحديـــدي. أي انه يمكن اعتبار المحول مكـــون مـــن دائـــرتين إحـــداهما دائـــرة

مغناطيسية والأخرى دائرة كهربية حيث يمثل القلب الحديـــدي الـــدائرة المغناطيسية و تمثل الملفات الدائرة الكهربية.

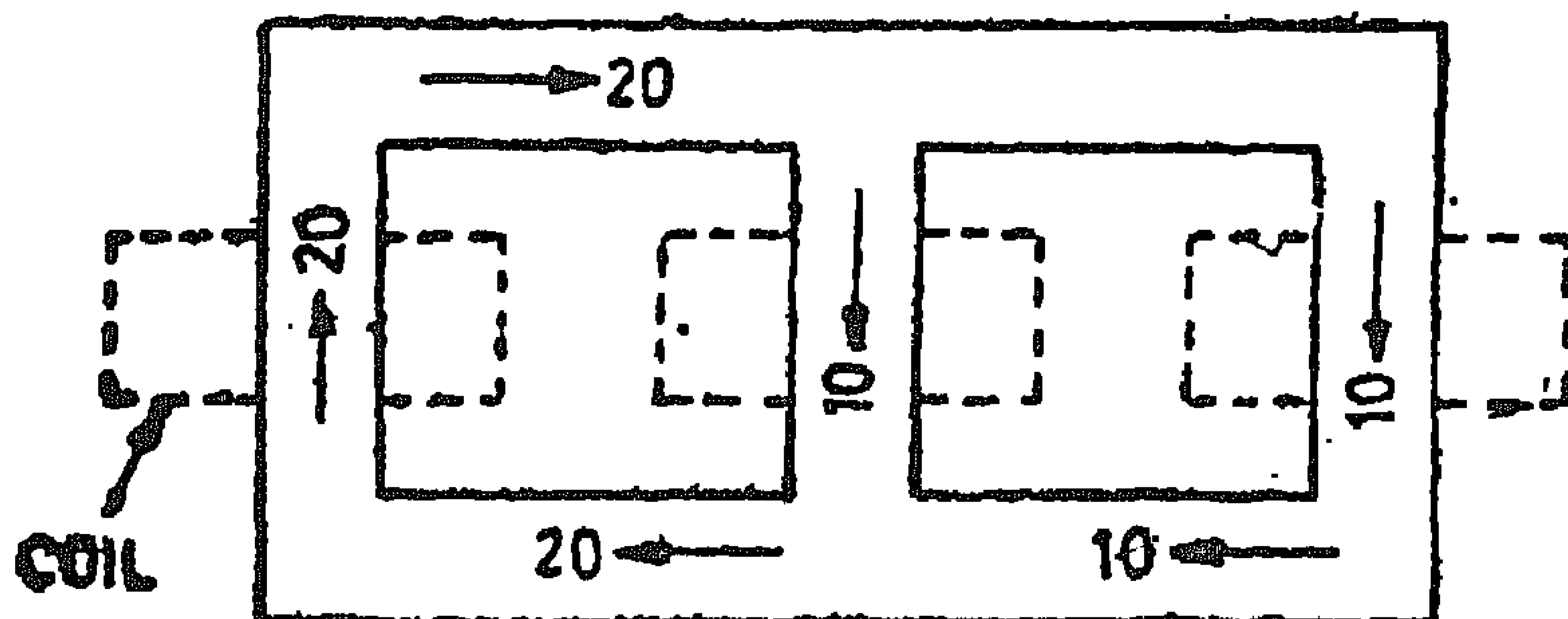
تتشابه المحولات الثلاثية الأوجه من حيـــث نوعيـــة التركيـــب مـــع نـــوعي المحولات أحادية الوجـــه ذي القلـــب core أو مغلـــف اللفـــائف shell type . ويوضح الشكل (2-3) التركيب الأساسي لمحول ثلاثي الوجه حيث يظهر الملـــف الابتدائي الموصل علي شكل نجمة بمصدر ثلاثي الأوجه. و يتباعد قلب كل وجـــه بزاوية 120 درجة عن الأخر أما الأرجل legs فتتلامس مع بعضها . و يلاحـــظ أن هذه الرجل الوسطي تحمل مجال مغناطيسي يتناسب مع مجموع تيارات الأوجه $I_R+I_Y+I_B$ ، و نظرا لأن مجموع هذه التيارات للنظم المتزنـــة يـــساوي الـــصفر فبالتالي لا توجد حاجة لهذه الرجل المتوسطة.

و في هذه الحالة يعمل أي اثنين من القلوب كتكملة لمسار المجال المغناطيسي القلب الثالث ويتماثل ذلك مع توزيع التيارات في نظم الثلاثة أوجه.

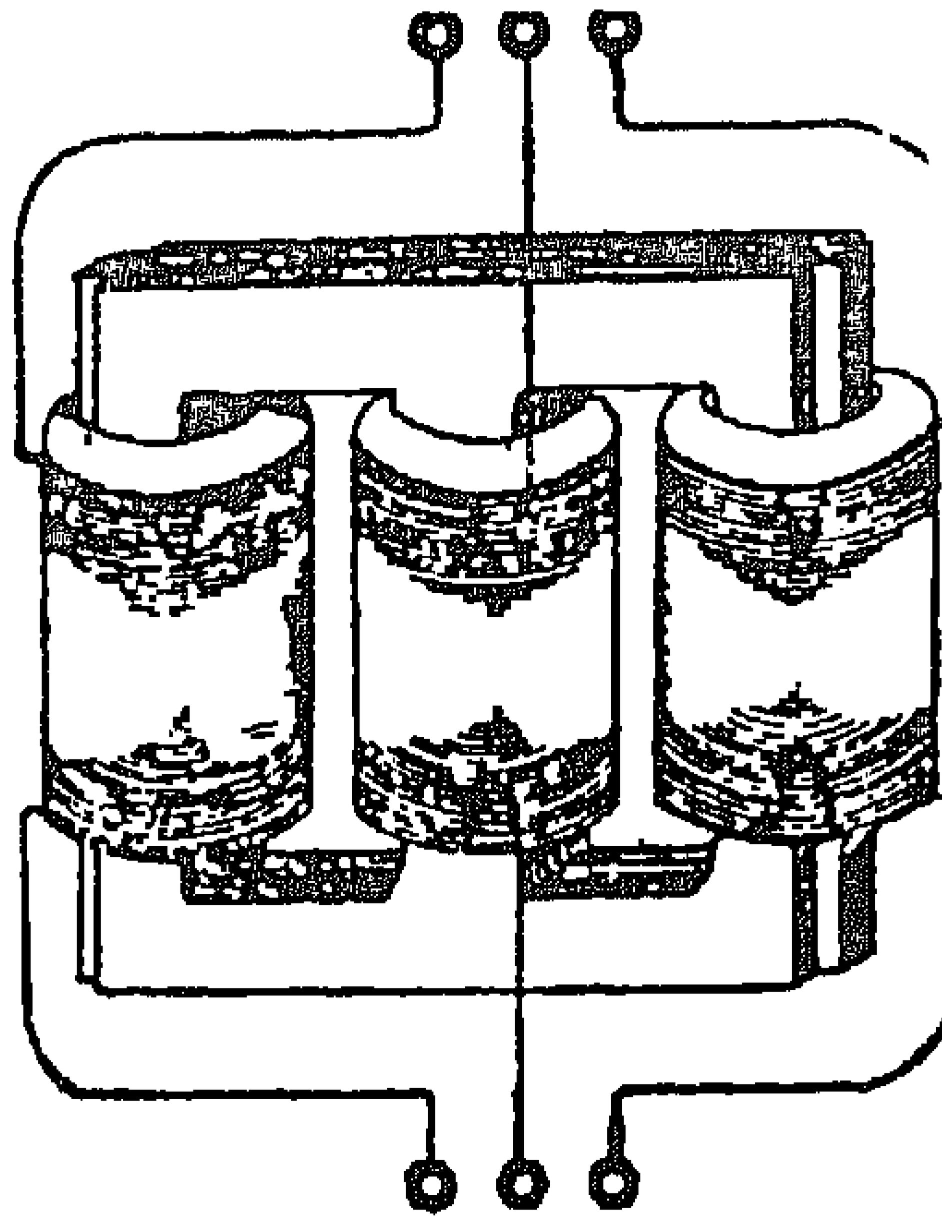
و يوضح الشكل (2-4) تطوير المحول ثلاثي الأوجه و الملفات الثلاثة فـــي صورة مستطيلات و يلاحظ أن المجال المغناطيسي – و المبين عند لحظة زمنيـــة معينة – موزع بين القلوب الثلاثة طبقا لنظام الأطوار الثلاثي. و يوضـــح الـــشكل (2-5) الملفات في شكل اسطواني حول القلب الحديدي.



شكل (2-3) التركيب الأساسي لمحول ثلاثي الوجه

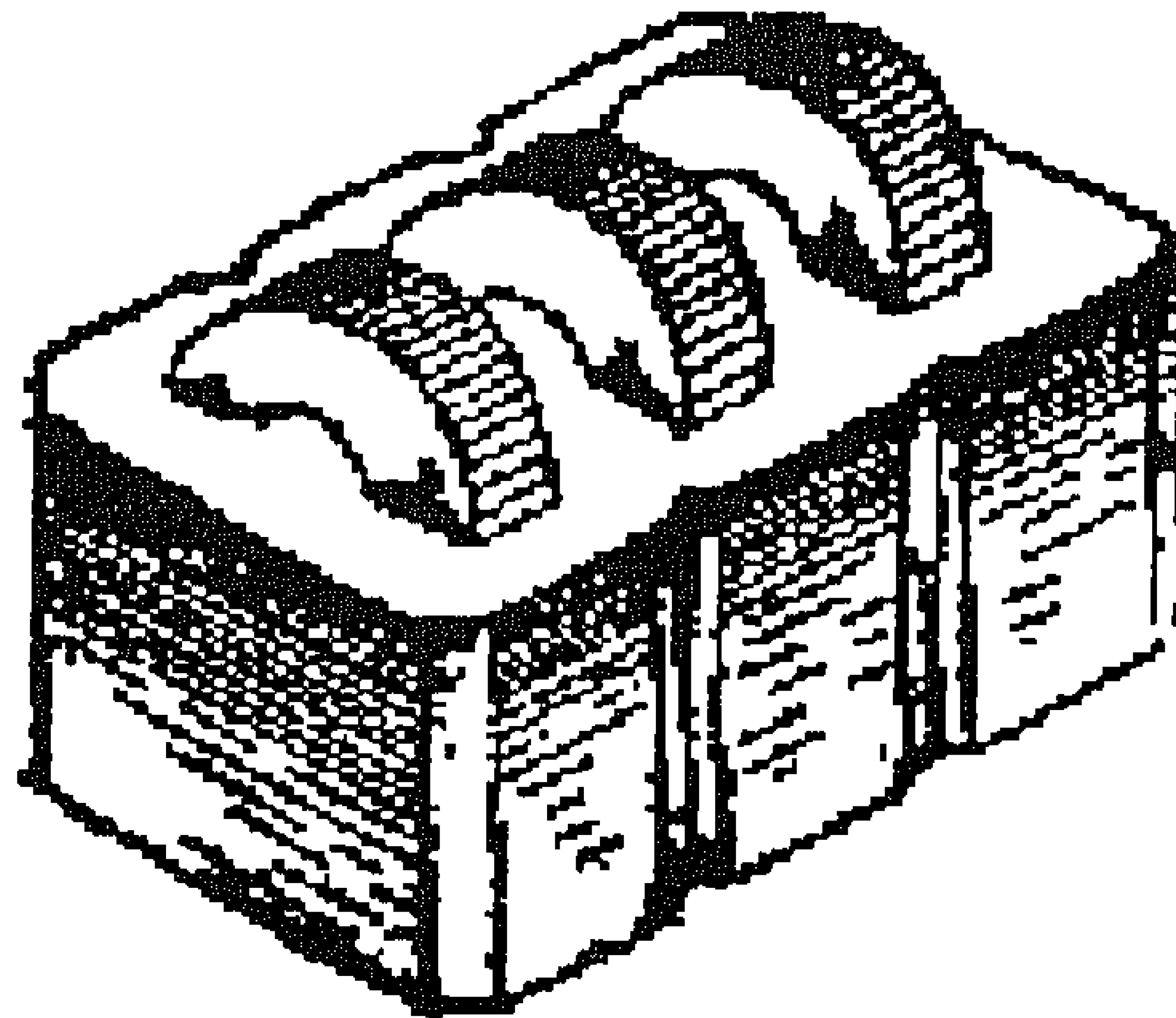


شكل (2-4) تطوير المحول ثلاثي الأوجه



شكل (2-5) الملفات في شكل اسطواني حول القلب الحديدي

و تتشابه محولات مغلف اللفائف ثلاثية الأوجه مع أحادية الوجه من نفس النوع. و يمكن ضم الثلاثة محولات الأحادية للثلاثة أوجه لتشكيل محول ثلاثي الأوجه ، و لكن يمكن توفير المادة الحديدية بالتصميم الموضح بالشكل (2-10).



شكل (2-6) ثلاثة محولات أحادية لتشكيل محول ثلاثي الأوجه

و يتمثل التوفير في المادة الحديدية بالاستخدام المشترك لمسارات الفيض المغناطيسي. و يلاحظ أن الأوجه الثلاثة مستقلة بعض الشيء أكثر من محول القلب لأن كل وجه له دائرة مغناطيسية مستقلة.

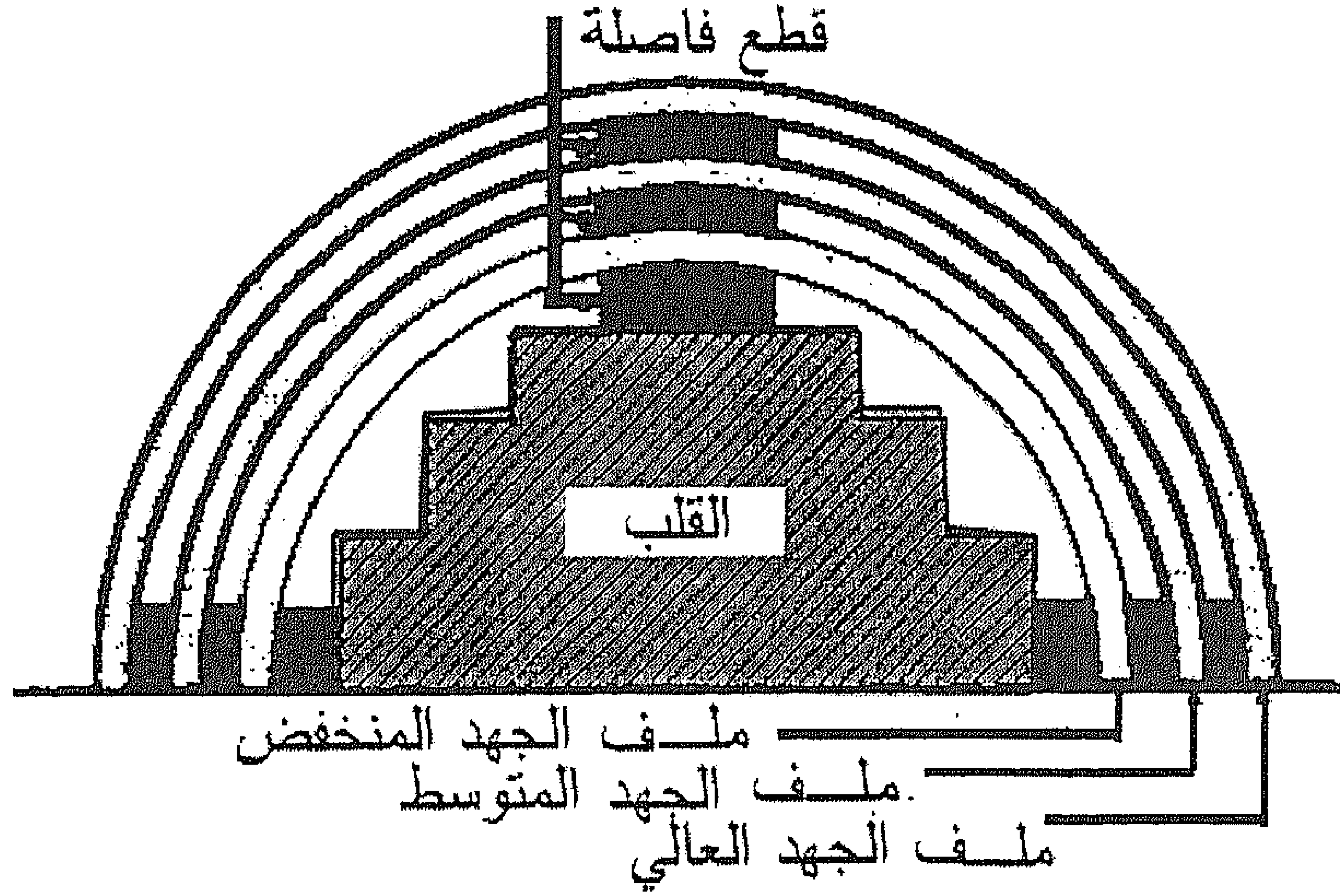
و يوجد عيب في المحول الثلاثي الأوجه يتمثل في أنه في حالة فقد أحد الأوجه فيلزم ايقاف تشغيل المحول ، و يمكن استثناء المحول الثلاثي المغلف عند توصيل الملفات علي صورة دلتا ولكنه فنيا غير ملائم. و يلاحظ أنه في حالة المحولات الأحادية الثلاثة فيمكن استبعاد المحول المعطوب بدون التأثير علي الوظيفة الكلية.

تصميم المحول

يعد المحول جهازاً بسيطاً، ويتميز بسهولة التصميم، ونظرية عمل وسلوك غير معقدة. إن دخل المحول قلب مغناطيس. ووظيفته وصل الفيض Φ. ويصمم هذا القلب على هيئة شرائح مصنوعة من سبيكة الحديد والسيليكون المجلفنة بسُمك 0.014 من البوصة وغالباً ما يستخدم للترددات الأقل من 100 هرتز على البارد. وهذا التصميم يؤدي إلى خفض قيمة التيارات الدوامية.

الذي يوضح الوضع الهندسي لقلب الملف، كما يوضح كيفية وصل المسارات المغناطيسية خلال أجزاء هذا القلب، وهي الرجل والشرائح الحديدية.

وتصنع اللفائف من نحاس معزول، وتوضع على هيئة لفات حول أرجل القلب، وتلف في وضع أسطواني محوري، وتوضع ملفات الجهد المنخفضة قريباً جداً من الحديد، وبينما توضع ملفات الجهد المرتفعة بعيداً عنه. وإذا كانت هناك ملفات للجهد المتوسطة توضع بينهما .



شكل (2-7) مقطع خلال قلب وملفات المحول

والمحولات ثلاثية الطور، إما أن تكون من ثلاثة وحدات أحادية الطـــور منفصلة عن بعضها، أو تتكون من وحدة واحدة.

وتوضع لفائف القلب في حوض من الصلب مملوء بالزيت الذي يحقق عدة وظائف، إذ يستخدم في أغراض العزل والتبريد، حيث يضيف عــزلاً كهربائيــاً إضافياً بين اللفائف.

كما أنه يساعد على انتقال الحرارة من القلب بعيداً إلى المبادلات الحرارية الخارجية، ودورة الزيت تتم إما طبيعياً أو بالتحريك .

وهناك عدة أنواع من السوائل ذات خواص كهربية وكيميائية ممتازة، منها سائل الأسكاريل Askarel وسائل آخر يعرف باسم مائع السيليكون Silicon fluid.

خصائص المحول المثالي

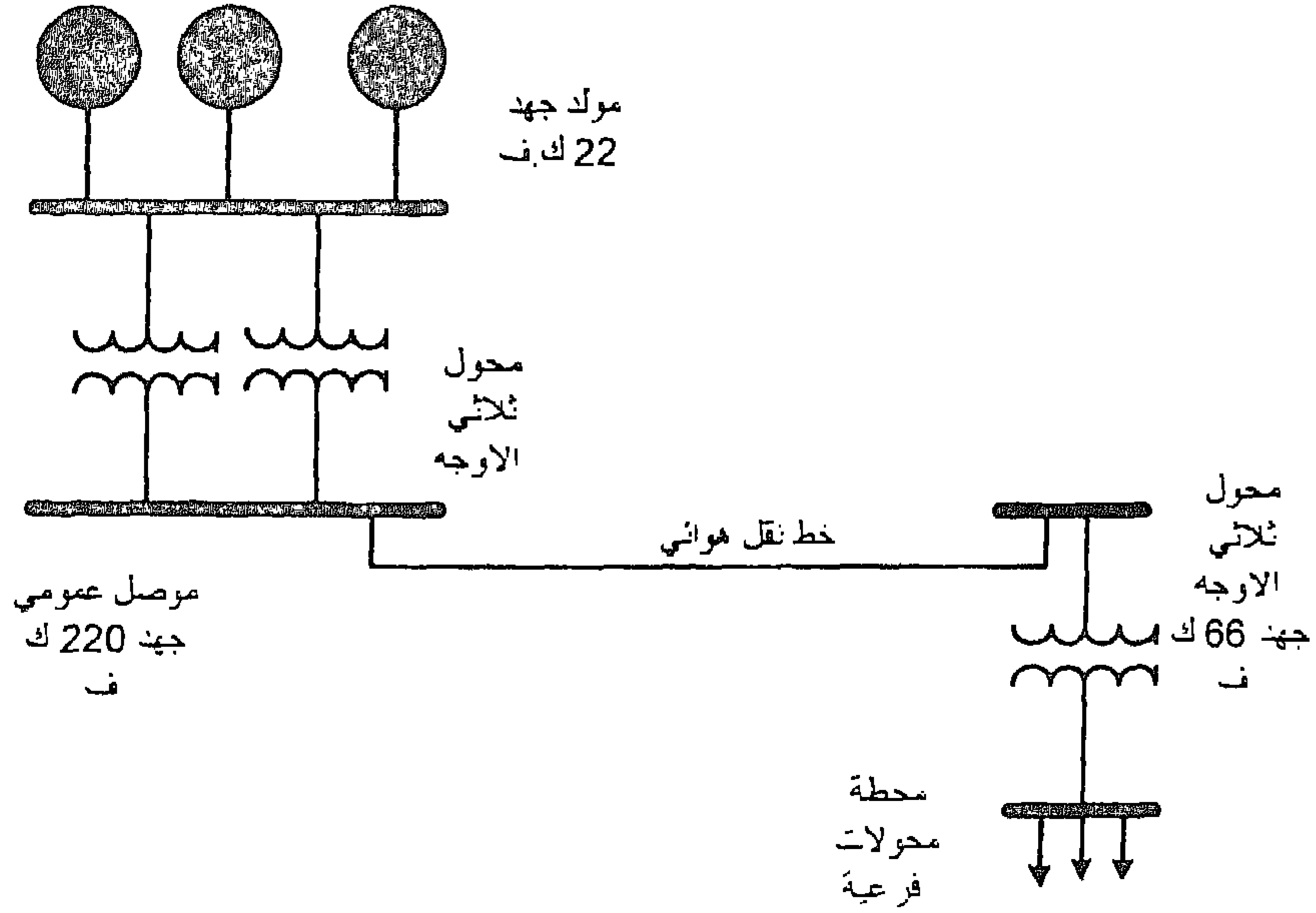
1. قيمة أي مقاومة من مقاومات اللفائف تساوى صفر.
2. فيض المحول Φ يُحتجز بأكمله في القلب المغناطيسي.
3. الممانعة المغناطيسية لمادة القلب تساوى صفراً.
4. مقدار الفقد التخلفي، وكذلك مقدار الفقد نتيجة التيارات الدوامية يساويان صفراً.

وخصائص المحول المثالي لا تتحقق في المحول الحقيقي، ولكنـــه يعطـــي صورة تقريبية جيدة للأداة الحقيقية، وهو يُعد ذا فائدة كبيرة في الدراسات المتعلقـــة بأنظمة المحولات.

المحولات الموصلة على شكل ستار Star Y

محول ثلاثي الأطوار ثنائي اللفائف لتحويل القدرة بين موصلين عمـــوميين ذوي أطوار ثلاثة، وهو يتكون من ثلاث وحدات متماثلة أحادية الأطوار. وعنـــدما يكون المحول ثلاثي الأطوار محملاً بالتماثل، تكون جميع الوحدات أحادية الأطوار لها التيار نفسه والجهد نفسها، ويكون الشيء الوحيد المختلف هو وقـــت الطـــور. لذلك يُستخدم لكل طور تحليل، وكل وحدة تحمل ثلث القدرة الكلية مـــن الأطـــوار الثلاثة وكل لفيفة لها $1/\sqrt{3}$ من جهد الخط المناظر لها.

الشكل التالي يُمثل نظام قدرة ثلاثي الأطوار مُكوّن من موصل عمـــومي لمولد ذي 23ك فولت، تتحـــول القـــدرة الكهربائيـــة خـــلال محـــولين متمـــاثلين ومتوازيين، كُلٍ منهما ثلاثي الأطوار، إلى موصل عمومي ذي 230 ك فولت، ثم تنقل القدرة خلال خط 230 ك فولت مسافة 50 ميلاً للموصل العمومي، بالإضافة إلى محول ثالث يحول القدرة إلى69 ك فولت لموصل عمومي لمحطة فرعية.



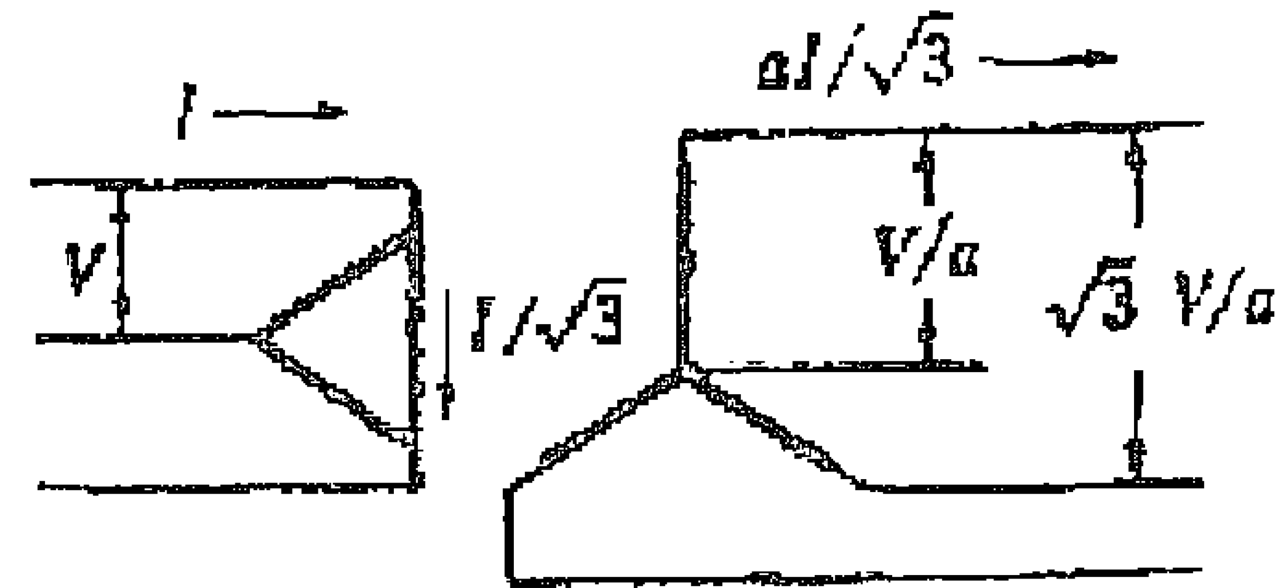
شكل (2-8) مثال لنظام قدرة ثلاثي الأطوار

المحولات الموصلة على شكل دلتا Delta △

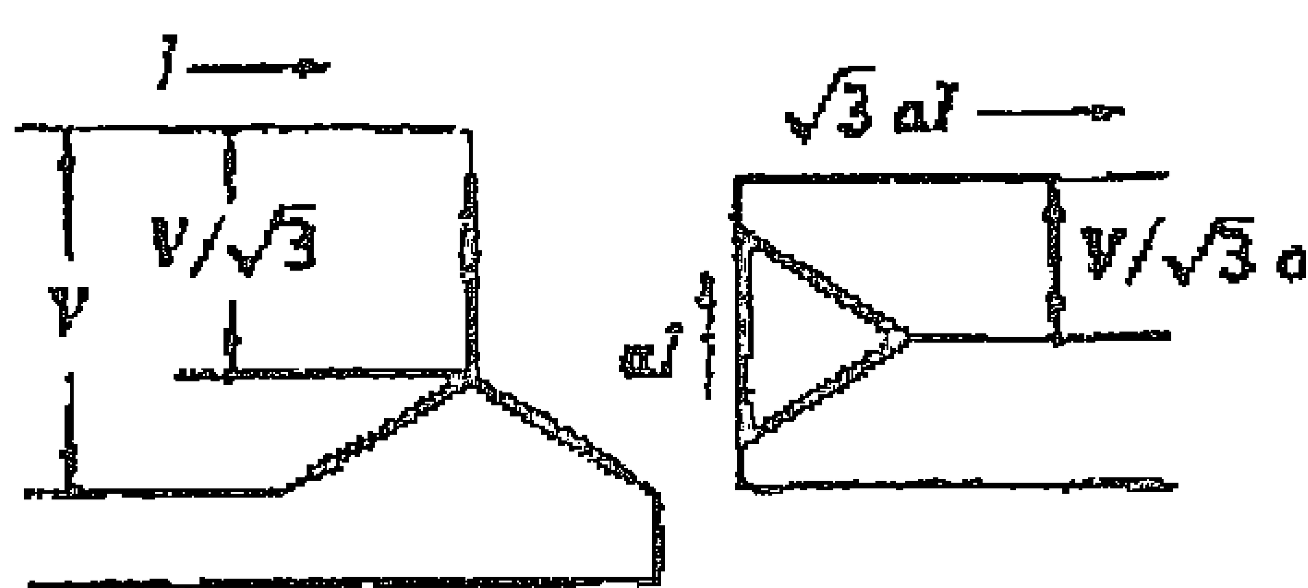
المحول الموصل على شكل ستار Y بسيط جداً، له بعض العيوب التطبيقية الخطيرة، حيث تؤدي الخواص المغناطيسية اللاخطية لمعدن القلب إلى توليد التوافقيان التي تخرج من خلال نقط التعادل، وتسبب متاعب في شبكات الاتصالات. وكذلك التوصيل بهذا الشكل غير مرغوب فيه حتى في حالات الحمل غير المتوازن بطريقة خفيفة. وبالتالي إذا أُضيف إلى محول القدرة لفيفة ثالثة موصلة بشكل △مغلق للحمل الثانوي نفسه، فإنه سيظهر تيار دوار في اللفيفة، يسمح بمرور تيارات ابتدائية في جميع الأطوار الثلاثة، تؤدى إلى توازن القوة الدافعة المغناطيسية في جميع القلوب، ولعدم حدوث تيارات تأريض ابتدائية. كما أنه ليس من الضروري أن توجد لفيفة ثالثة خاصة. ولكن يمكن أن تعمل أي من اللفائف الابتدائية أو الثانوية أو دلتا △مغلقة.

المحولات ثلاثية الأطوار ومتعددة اللفائف

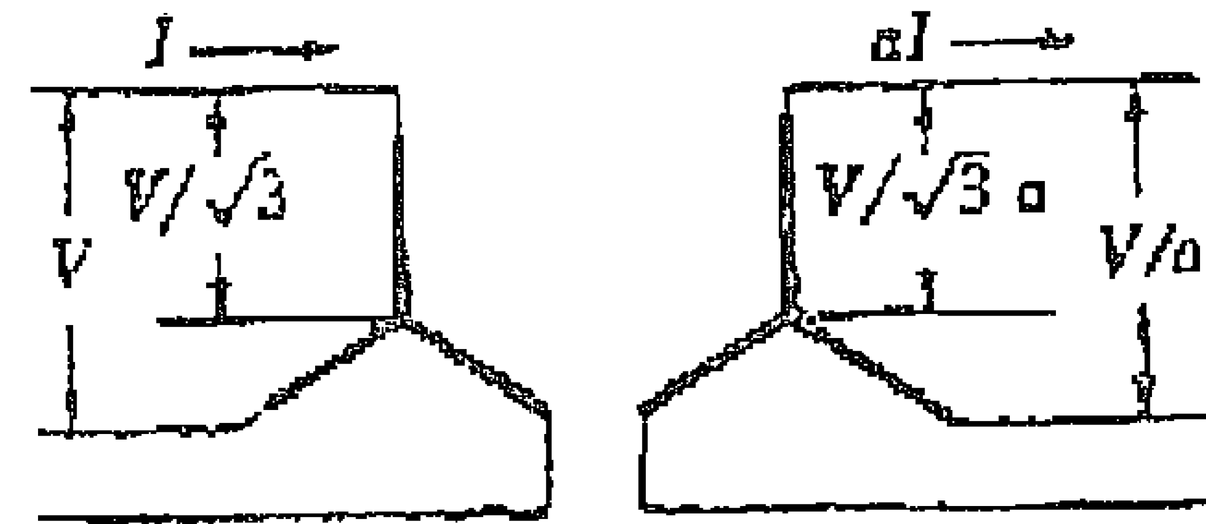
تكون المحولات ثلاثية الأطوار من النوع متعدد اللفــائف المـــستخدم فـــي تحويل القدرة بين مستويات فولتيات مختلفة. ويمكن أن تكون اللفائف مـــن النـــوع المختلط، الذي يحتوى على كُلٍ من التوصيلات بالشكل ستار ودلتا Y، △ويستخدم التوصيل Y ـــ △في أغراض خفض الجهد من الجهـــد العـــالي والمتوســـط إلـــى الجهود المنخفضة، بينما توصيل △ـــ Y لرفع الجهود الـــصغيرة إلـــى الكبيـــرة. ويمتاز التوصيل على صورة △ـــ △بأنه يمكن أن يكون أحـــد المحـــولات فـــي الصيانة أو الإصلاح ويعمل الاثنان الآخران محولاً ثلاثي الأطوار ولكن يـــنقص المعدل الى 58%من الطاقة الكلية، ويسمى هـــذا التوصـــيل "دلتـــا مفتوحـــة" أو "التوصيل V". ونادراً ما يستخدم التوصيل على هيئة Y-Y للـــصعوبات الخاصـــة بظاهرة تيار ـــ المستثير .



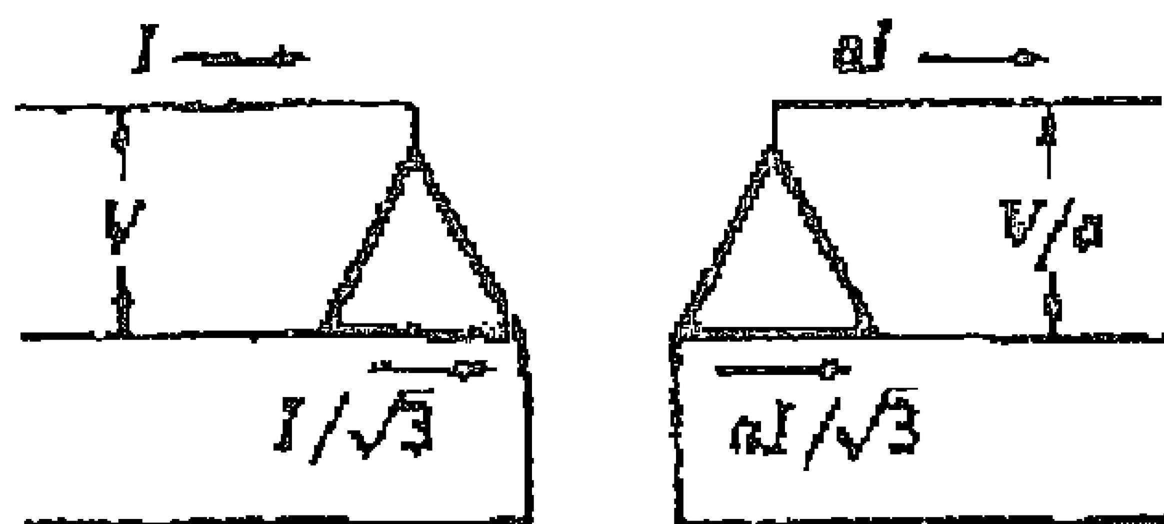
توصيل دلتا ـــ ستار



توصيل ستار ـــ دلتا



توصيل ستار ـــ ستار



توصيل دلتا ـــ دلتا

شكل (2-9) التوصيلات المختلفة لمحول ثلاثي الطور

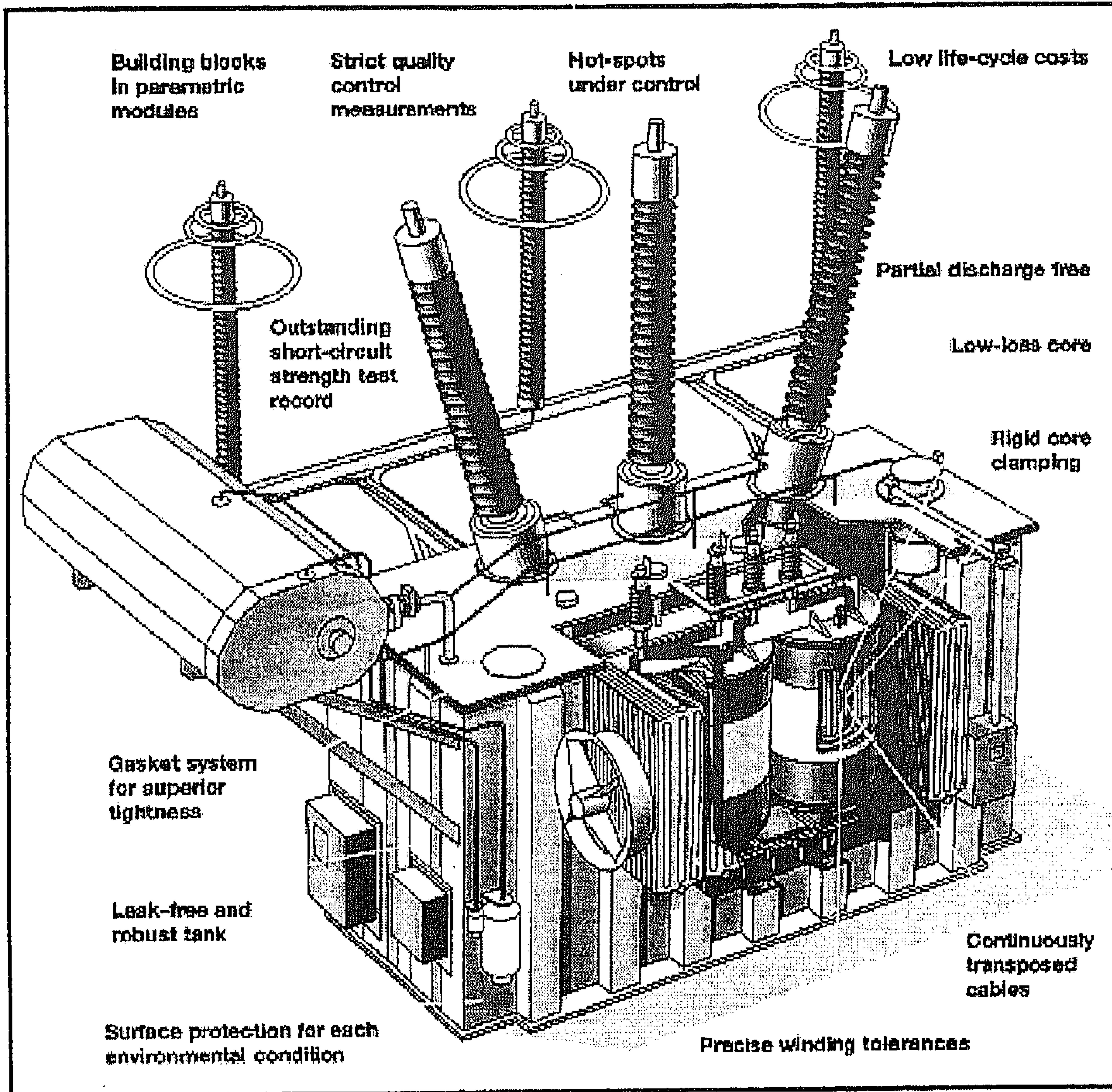
المحول بوصفه جهاز تحكم

محولات TCVL

يُعد تحويل الطاقة بين مستويات الجهد المختلفة العمل الأساسي لمحول القدرة. وكل محول مزود عملياً بمأخذ للتحكم في نسب الجهد الثانوية. يمكن تغيير المآخذ، في معظم المحولات، في حالة اللاحمل. وفي حالات عديدة يمكن الحصول على التحكم في النسبة بتغيير المآخذ مع وجود حمل TCVL، ونتيجة لتغير فيض القدرة فإن شكل الجهد في الشبكة يميل إلى التغير البطيء خلال اليوم، فينخفض خلال ساعات الذروة، ويرتفع خلال ساعات الليل، ومحولات TCVL يمكنها المحافظة على مستوى جهد ثابت، على بعض الموصلات العمومية المهمة في شبكات النقل والتوزيع، رغم المتغيرات في مستوى الجهد لنظام النقل. وتغير المآخذ يكون عادة بوساطة محرك يعمل بأوامر من مجسات للجهد يمكنه التحكم في مستوى الجهد الثانوي بعروة تحكم مغلقة.

محولات التنظيم

العمل الأساسي لتلك المحولات هو تغيير الجهد في المقدار والطور بكمية صغيرة نسبياً في النظام. ورغم صغر مقدار الجهد المضاف إلا أنها تعطي تأثيراً كبيراً على فيض القدرة. لذلك تكون محولات التنظيم وسيلة فعالة للتحكم في فيض القدرة للنظام.



شكل (2-10) محول خافض للجهد

الغرض من محولات القدرة : نظراً لتوليد القدرة الكهربية في أماكن بعيدة عن المستهلكين لذلك تستخدم المحولات لنقل القدرة الكهربية بضغوط مرتفعة الى أماكن استهلاكها ثم تخفض إلى ضغوط شكل (2-10)

ونتيجة لنقل القدرة الكهربية بضغوط مرتفعة تحقق عدة فوائد منها :

1- توفير في ثمن الموصلات حيث أمكن استخدام موصلات ذات مقطع أصغر .

2- توفير فى القدرة المفقودة في الموصلات وكذلك في ثمـــن الطاقـــة الكهربيـــة المفقودة .

3- رفع كفاءة خطوط نقل القدرة الكهربية .

نظرية المحول :

2-1 تركيب محولات القدرة الكهربية : Construction of Transformer

1- الإناء . 2- أنابيب التبريد.

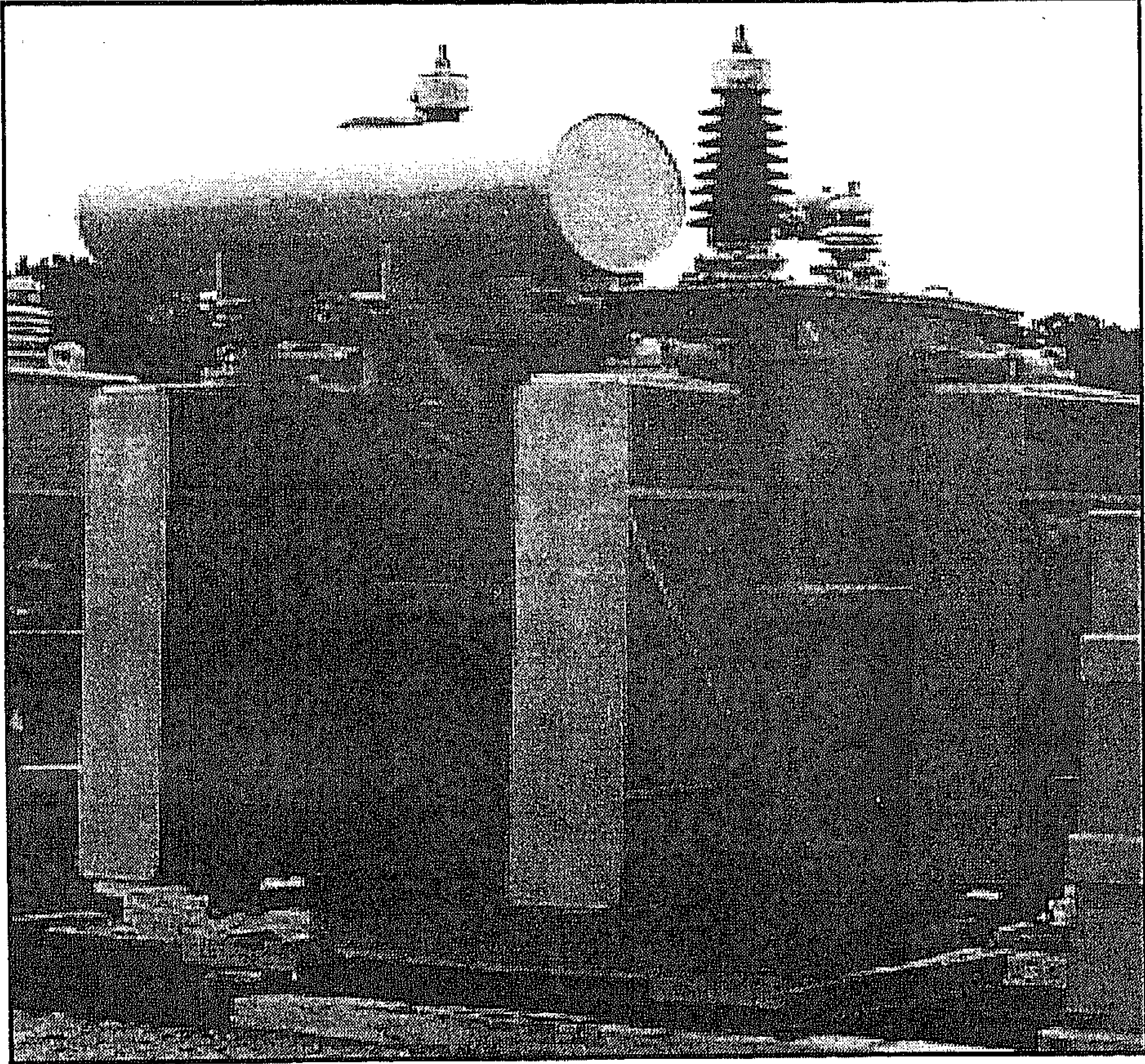
3- صفائح القلب المغناطيسي (القلب الحديدي Core) 4- الملفات .

تركيب المحول يتركب المحول من ثلاثة أجزاء رئيسية هي:

- الملف الابتدائي Primary Winding
- الملف الثانوي Secondary Winding

5. وعاء التمدد الزيتي (التنك المرفق)
6. قابض أنابيب التبريد
7. متمم بوخلز
8. ترمومتر حراري
9. عوازل الضغط العالي
10. عوازل الضغط المنخفض
11. مسامير تثبيت الصفائح
12. أنبوبة بيان الزيت
13. أنبوبة التمدد
14. حامل العجلات
15. الزيت

والشكل (2-11) يوضح صورة محول قدرة جهد 11/132 كيلو فولت.



الشكل (2-11) يوضح صورة محول قدرة جهد 11/132 كيلو فولت

العناصر الأساسية المكونة لمحول القدرة :

(أ) الجزء الداخلي الرئيسي :

* القلب الحديدي رقم 3 وفائدته :

1- حمل وتكثيف المجال المغناطيسي في دوائر مغناطيسية .

2- حمل الملفات الابتدائية والثانوية والأطراف العازلة .

*الملفات " الابتدائية - الثانوية " والأطراف العازلة .

أطراف التوصيل " عوازل الجهد العالي رقم 9

عوازل الجهد المنخفض رقم 10 .

(ب) الجزء الخارجي أو الثانوي : يتكون من (انظر شكل 2)

خزان وعاء الزيت الرئيسي (1) وأنابيب التبريد (2) .

خزان وعاء التمدد (5) .

أجهزة التحكم والوقاية (متمم بوخلز 7 وأنبوبة قذف الزيت (13) ومفتاح تغيير نسبة التحويل غير ظاهر بالرسم) .

أولا : القلب الحديدي :

يصنع من رقائق من الصلب السليكوني بسمك يتراوح من (0.35 إلى 0.5 مم) وتعزل عن بعضها بالورنيش أو الورق وذلك لتقليل المفقود الناشئ من التيارات الاعصارية ويزيد السليكون من معامل نفاذ الحديد وبالتالي يقلل من مفاقيد التعويق المغناطيسي .

ثانياً : (أ)الملفات الابتدائية :

وهو الملف الذي يتصل بالمنبع ويصنع من سلك النحاس الأحمر جميع لفاته معزولة عن بعضها وعن القلب وعن الملف الثانوي عزلا كهربائياً . وتختلف درجة العزل ومساحة المقطع باختلاف قيمة الضغط والتيار المار به .

(ب) الملف الثانوي :

وهو مثل الملف الابتدائي غير أنة يوصل بالحمل وتختلف عدد لفاته ومساحة مقطعها حسب الضغط على طرفيه والتيار المار به .

ثالثاً : أطراف التوصيل :

تستخدم لتوصيل أطراف الملفات (الضغط المنخفض والعالي) من داخل المحول الى خارج المحول .

ويتوقف شكل ونوع طرف التوصيل على الآتي :

1- **الضغط المستخدم** : (منخفض – عالي – فائق) و تختلف أطراف التوصيل باختلاف الجهد المستخدم .

ففى الضغط المنخفض تكون من الصيني شكل (4-أ)
والعالي تكون من الصيني المملوءة بالزيت والضغط العالي جداً (الفائق) تكـــون أطراف مكثفات شكل (4-ب)

2- نوع التوصيلات : ففى حالة توصيل المحول بكابلات أرضية تستخدم صندوق نهاية مثبت في جانب المحول وتنفذ إلى داخل الوعاء . أما في حالة توصيل المحول مباشرة بالخطوط الهوائية أو قضبان التوزيع تكون أطراف التوصيل على غطاء المحول .

رابعاً: خزان (وعاء) الزيت الرئيسي :

يصنع من حديد غير مغناطيسي ويختلف شكل الخزان باختلاف قدرة المحول حيث يشكل سطحه بحيث يكون كافياً لفقد الطاقة الحرارية الناتجة من المفاقيد الكهربية . والتي تنقل إليه بواسطة زيت التبريد . وقد يحتوى على مجارى (أنابيب) لسحب الزيت وتبريده ثم إعادته في القدرات العالية . ويركب الوعاء على قاعدة تعمل على عجل بحيث يسهل نقل المحول .

فائدة الخزان الرئيسي :

1- حماية القلب والملفات باحتوائه لها .
2- حمل أطراف ومخارج التوصيل .
3- وضع وحفظ زيت المحولات المستخدم في تبريد وعزل المحول .
4- حمل مواسير الإشعاع للمحول .

خامساً : خزان التمدد (خزان الزيت الزائد) :

يصنع من صفائح الصلب ويثبت على السطح العلوي للمحول ويـــصل بـــالخزان الرئيسي بماسورة توصيل حيث تلتقي به في أعلى بعض الشيء من قاع خـــزان التمدد الذي يقدر حجمه 1/10 حجم الخزان الرئيسي .

ويزود خزان التمدد بالآتي :

1- أنبوبة بيان مستوى الزيت وفائدتها :

(أ) بيان مستوى الزيت .

(ب) ملاحظة لون بخار الزيت الناتج عن حدوث عطل بالمحول ، بعـــد اشـــتعال الباخر فإذا كان :

- لون البخار المتجمع أبيض دل ذلك على حرق في الورق العازل .
- لون الغاز المتجمع أصفر دل ذلك على حرق الخشب والفبر العازل .
- لون الغاز المتجمع أسود دل ذلك على تحلل الزيت وحرقه .

2- أنبوبة ذات ثقوب لسحب الهواء وطرده :

حيث تعمل على توازن الضغط داخل الخزان وخارجه وتسمى بأنبوبة التنفس ولمنع الرطوبة وتجفيف الهواء الداخل للخزان يوضع في طريقة مادة ماصة للرطوبة (السليكاجيل).

سادساً : أنبوبة الطرد (قذف الزيت) :

في المحولات كبيرة القدرة يزود خزان الزيت الرئيسي بأنبوبة تغلق فتحتها بواسطة شريحة زجاجية (غشاء) . فعند حدوث خطاء تزيد كمية الغازات بالخزان ، تضغط على الشريحة الزجاجية فتكسرها وتخرج إلى الجو الخارجي وكذلك الزيت الزائد .

طرق توصيل ملفات محولات القدرة

زاوية الوجه بين ملفات الضغط العالي والمنخفض :

إذا كانت التوصيلات متشابهة في شكل التوصيل (نجمة / نجمة أو دلتا / دلتا) فأنة يكون هناك اتفاق وجهي . لذا فأنة قد أخذت زاوية الوجه بين الضغط العالي والمنخفض كأساس لتقسيم المحولات . فإذا رمزنا الى الضغط العالي بعقرب الثواني والضغط المنخفض بعقرب الساعات وباستخدام الزاوية المركزية بين كل رقمين من أقسام الساعة وقدرها 30 وبالدوران في اتجاه عقارب الساعة كما هو مبين بالشكل (2-12) نحصل على جدول توصيلات المحولات .

1- مجموعات التوصيل نجمة / نجمة أو دلتا / دلتا : في هذه التوصيلات يكون عقربي الساعة منطبقين عند الساعة 12 أي زاوية الوجه صفر ولذلك تسمى هـــذه المجموعة من التوصيل بالمجموعة 12 .

2- مجموعات التوصيل نجمة/ نجمة معكوسة : حيث تكون زاوية الوجـــه 180 ويكون عقربي الساعة عند الرقم 6 ولذلك تسمى هذه المجموعة بالمجموعة رقم 6

3- مجموعات التوصيل نجمة / دلتا أو دلتا / نجمة : حيث تكون زاوية الوجه 30 ويكون عقربي الساعة عند الرقم 11 وتكون زاوية الوجه للمجموعات 11 هى 30 x 11 = 330 .... وهكذا .

فإذا رمزنا إلى أطراف توصيل الضغط العالي بـــالحروف الكبيـــرة Y,D,Z أي نجمة ، دلتا ، زجزاج Zigzag ، كذلك أطـــراف توصـــيل الـــضغط المـــنخفض بالحروف y,d,z وبكتابة رقم المجموعة بجوار الرمز يدل على زاوية الوجه بين الضغط العالي والمنخفض بعد ضربها x 30 .

أنواع مجموعات التوصيل المستخدمة ومميزات كل مجموعة :

1- توصيله نجمة / نجمة :

يوصل فيها كل من الابتدائي والثانوي على شكل نجمة وتكون زاوية الوجـــه صفر حيث رقم المجموعة (12 أو صفر) وتكون نسبة التحويـــل ض2/ض1 = ن2/ن1 .

وتتميز هذه التوصيلة بالآتي :

(أ) اقتصادية في دوائر الضغط العالي .

(ب) يغلب استخدامها في الأحمال الصغيرة المتزنة .

(ج) يمكن الحصول منها على أكثر من قيمة للجهد.

عيوبها:

(أ) يسبب سلك الأرضي متاعب إذا لم يوصل جيداً بالأرض .

(ب) لا تستخدم في الأحمال غير المتزنة .

(ج) ظهور التوافقية الثالثة.

2- توصيله الدلتا / دلتا :

يوصل في هذه الطريقة كل من ملفات الابتدائي والثانوي على شــكل دلتــا (مثلث) وتكون زاوية الوجه صفر حيث رقم المجموعة (12 أو صفر) وتكون نسبة التحويل : ض2/ض1 = ن2/ن1

مميزات هذه التوصيلة :

(أ) اقتصادية عند الضغط المنخفض .

(ب) تخمد فيها التوافقية الثالثة .

(ج) يمكن استخدامها عند الأحمال الكبيرة غير المتزنة .

عيوبها :

(أ) لا يمكن الحصول منها على أكثر من جهد .

(ب) لا تستخدم في التوزيع وذلك لعدم وجود طرف رابع .

3- توصيلة نجمة / دلتا :

حيث يوصل ملفات الابتدائي نجمة وملفات الثانوي دلتا وقد تكـــون زاويـــة الوجه (150 أو 330) أى رقم المجموعة (5أو 11) وتكون نـــسبة التحويـــل ض2/ض1 = ن2/ن1.

مميزات هذه التوصيلة :

(أ) تخمد فيها التوافقية الثالثة وتعمل على استقرار نقطة الحياد .

(ب) تستخدم في محولات الخفض لتغذية المحركات ثلاثية الأوجه المتزنة.

عيوبها :

(أ) لا يمكن الحصول منها على أكثر من جهد .

(ب) لا يمكن استخراج طرف رابع من الملف الثانوي .

4- توصيله دلتا / نجمة : شكل (10)

فى هذه التوصيلة توصل ملفات الابتدائي دلتا والثانوي نجمة . وقـــد تكـــون زاوية الوجه حسب رقم مجموعة التوصيل أمـــا رقـــم (5، 11) أى (150-أو 330) ونسبة التحويل في هذه الحالة ض2/ض1 = ن2/ن1

مميزات هذه التوصيلة :

(أ) تستخدم بكثرة في توزيع القدرة الكهربية .

(ب) يمكن استخراج طرف رابع والحصول على أكثر من ضغط .

(ج) حيث أن الابتدائي موصل دلتا فلا أثر للتوافقية الثالثة .

(د) تصلح للأحمال المتزنة وغير المتزنة .

5- التوصيلة ذات الدلتا الإضافية :

تزود المحولات بمجموعة ملفات توصل على شكل دلتا مقفولة علـــى نفـــسها وذلك لتلافى تأثير التوافقية الثالثة وذلك بإمكان تشغيل المحولات التى تظهر بهـــا هذه التوافقية الثالثة على الأحمال المتزنة وغير المتزنة وتكـــون ضـــرورية فـــي المحولات ذات التوصيل نجمة / نجمة متداخلة .

والجدول الآتي يبين أنواع توصيلات المحولات .

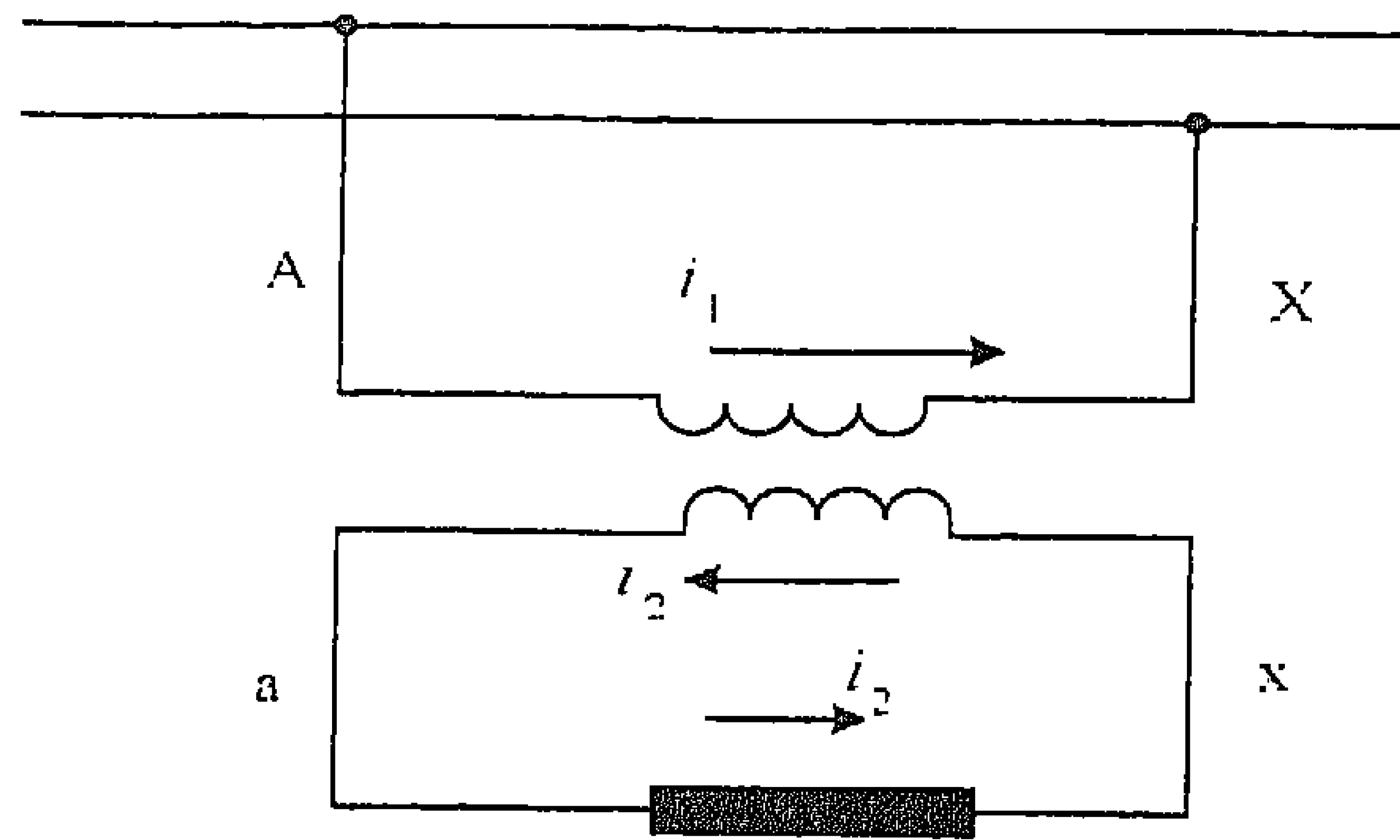
كيفية تمييز أطراف المحولات:

تميز أطراف ملفات الضغط العالي بالرمز لها بالحروف الكبيرة A,B,C وتميز أطراف ملفات الضغط المنخفض بالحروف الصغيرة **a, b ,c** وتميز أطراف الضغط العالي بالنظر إلى مساحة مقطعها حيث تكون أقل من مساحة مقطع أطراف ملفات الضغط المنخفض . أو بواسطة قياس مقاومة كل ملف فالملف ذو المقاومة الأكبر هو ملف الضغط العالي .

مجموعات توصيل لفائف المحول

حسب قانون لينز يجب أن يكون التيار في الملف الثانوي متعاكسا في الاتجاه مع التيار الابتدائي ، أما فيما يخص الاتجاه النسبي للتيار في الحمل ، فانه عند الاختيار المناسب لأطراف الملف الثانوية (شكل 2- 3) يمكن أن يتفق التيار والجهد في الحمل من حيث الطور مع الجهد الابتدائي والتيار الابتدائي ، كما يمكن أن يتعاكسا معها من حيث الطور . وفي الحالة الأولى، يمر التيار خلال الحمل في

الاتجاه الذي كان يجب أن يمر فيه عند توصيل الحمل مباشرة مع الدائرة الابتدائية. ولهذا الطور النسبي للجهد الثانوي أهمية كبري عند توصيل المحولات على التوازي وفي محولات القياس وغير ذلك من الأجهزة. وللاتفاق على طريقة معينة للتعبير عن إزاحة أطوار الجهد الثانوي بالنسبة للجهد الابتدائى، تقسم المحولات حسب مجموعات التوصيل.



شكل (2-12) الاتجاه النسبي للتيارات في لفائف المحول الأحادي وفي الحمل

وتؤخذ زاوية إزاحة الطور بين الجهد العالي والمنخفض كأساس لتقسيم المحولات حسب مجموعات التوصيل. فهذه الزاوية يجب أن تكون متساوية في المحولات التي توجد بها نفس مجموعة التوصيل. فهذه الزاوية يجب أن تكون متساوية في المحولات التي توجد بها نفس مجموعة التوصيل.

ويتم الرمز إلى مجموعات التوصيل علي أســاس مقارنــة الوضــع النــسبي لمتجهي الجهد العالي والجهد المنخفض بوضع عقرب الدقائق وعقرب الــساعات. ولإجراء هذه المقارنة ، لنتصور أننا ثبتنا عقرب الدقائق علي الرقم 12 وان متجه الجهد العالي ينطبق علي هذا العقرب. أما متجه الجهد المنخفض فينطبــق علــي عقرب الساعات. وتستعمل الزاوية 30 المساوية للزاوية المركزية بين كل رقمــين متجاورين من أرقام الساعة ، كوحدة قياس عند حساب زاوية زحزحة الأطــوار.

ويتم قياس الزاوية ابتداء من عقرب الدقائق في اتجاه عقرب الساعات وذلـك فـي اتجاه دوران هذه العقارب، ويعين اسم مجموعة التوصيل علـي أسـاس وضـع العقرب الساعات.

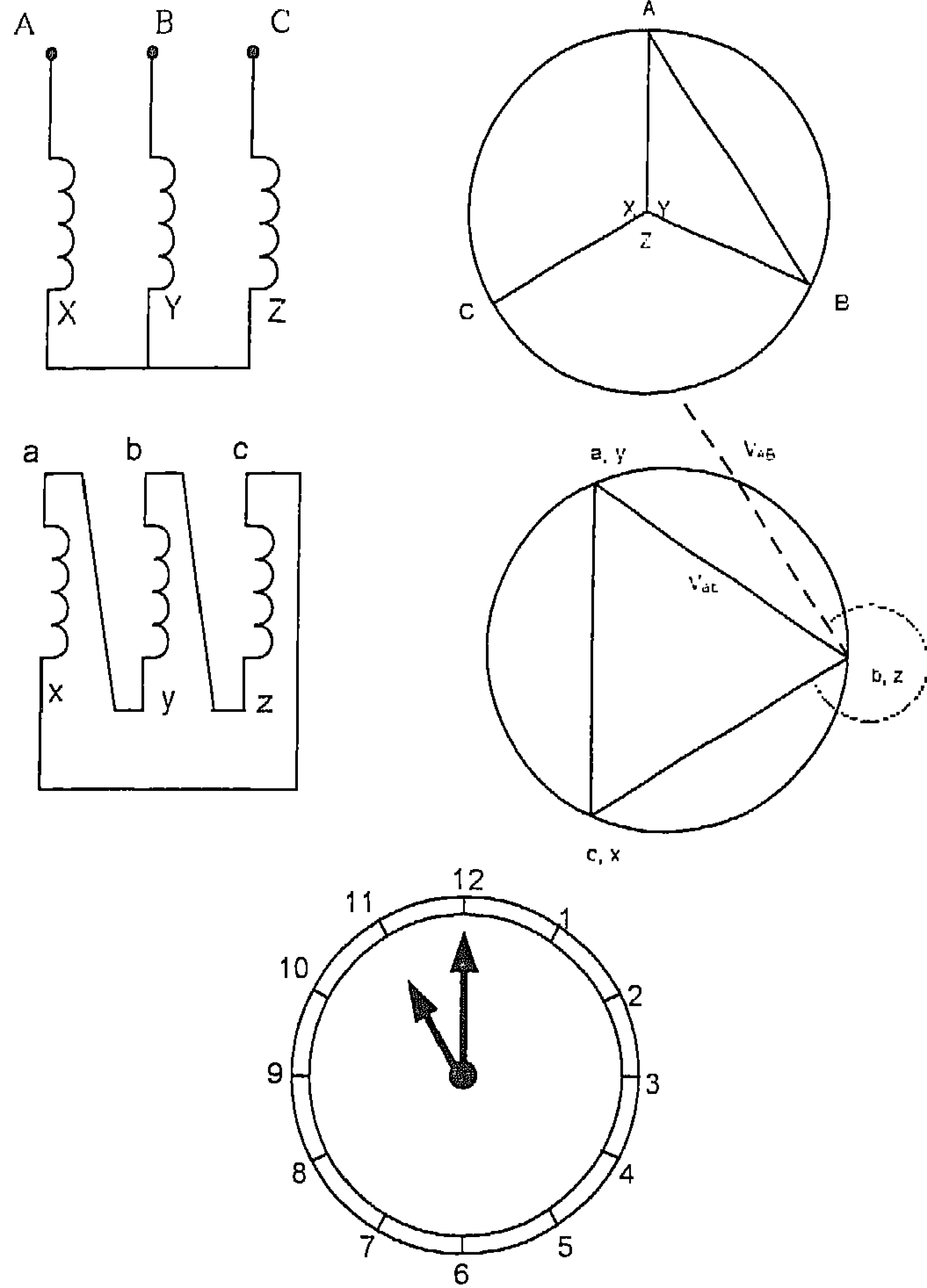
وفى حالة المحول الأحادي الطور ، يمكن لمتجه الجهد المنخفض أن يـشكل مع متجه الجهد العالي زاوية قدرها صفر أو 180° بالتقريب. والحالـة الأولـى تناظر وجود كلا العقربين على الرقم 12 لذا فإن هذا الوضع يسمى بالمجموعـة 12.

أما في الحالة الثانية فإن عقرب الساعات يكون موجودا عند الرقم 6 ، أي أن هذا الوضع عبارة عم المجموعة 6. وفي الحالة الأخيرة يكون الملفـين الابتـدائي والثانوي ملفوفين في اتجاهين مختلفين.

وحسب المواصفات القياسية، تستعمل في المحولات الأحادية الطور مجموعة توصيل واحدة وهي المجموعة 12. ومن الممكن أن توجد كل المجموعات الاثنتى عشرة المختلفة في حالة المحولات الثلاثية الأطوار. ولكن من المستحسن أن يوجد لدينا أقل عدد من المجموعات المختلفة. لهـذا ، فمـن المتفـق عليـه اسـتعمال مجموعتين قياسيتين حسب المواصفات القياسـية وهمـا المجموعتـان 11، 12. وينتسب الى المجموعة 11 نوعان من التوصيل: وهمـا نجمـة / دلتـا (Y/Δ) ونجمة ذات نقطة تعادل / دلتا (Y_o / Δ)

أما المجموعة 12 فينتسب إليها نوع واحد من التوصيل: وهو نجمة / نجمـة ذات نقطة تعادل (Y / Y_o) وتدل العلامة o على وجود مخرج لنقطة التعادل في الحالتين الثانية والثالثة.

وتستعمل المجموعة (Y / Y_o)-12 في المحولات التي تصل الى جهد 35 ك.ف وتستعمل كلتا طريقتي التوصيل الخاصة بالمجموعة 11 في المحولات ذات القدرات والجهود الأعلى. وكمثال نوضح بالشكل 13-2 كيف يكون متجه جهد الخط الثانوي.



شكل (2-13) مجموعة التوصيلات 11 ومضلع المتجهات الخاص بها

V_{ab} مع متجه جهد الخط العالي (الابتدائي) V_{AB} زاويـــة قـــدرها 330 أي مثل الزاوية الموجودة بين عقارب الساعة في الساعة الحادية عشرة وذلـــك عنـــد توصيل نجمة دلتا $(\Delta\text{-}Y)$. وهكذا فإن الطريقـــة فـــي التوصـــيل تنتمـــي إلـــى المجموعة 11.

توصيلات المحولات على التوازي

أولاً - محولات الوجه الواحد :

(أ) توصيل ابتدائي على التوازي :

قد يحتاج الأمر لان يتصل محولات بالشبكة العامة لكى يغذى كل منهما حمل خاص به فيكون شرط التوصيل في هذه الحالة هو تساوى ضغط الملف الابتدائي .

(ب) توصيل ابتدائي وثانوي على التوازي :

شرط توصيل محولين ذو وجه واحد على التوازي :

1- تساوى نسبة التحويل (نفس الضغط الاسمي للابتدائي والثانوي).

2- متساوية ضغط القصر أو (الإعاقة الداخلية للمحولين متـساوية) ولتحقيـق الشرطين السابقين نستخدم مصباح متوهج فإذا وصـل طـرف بـالملف الثـانوي والآخر بالشبكة (المحول ناحية الثانوي) وظل مظلماً كان التوصيل صحيحاً وإلا إذا كان التوصيل خاطئا ويبدل الطرفان شكل (11) .

ثانياً : توصيل المحولات الثلاثية الأوجه :

شرط توصيل محولين للعمل على التوازي :

1- نفس الضغط الاسمي للابتدائي والثانوي (نفس نسبة التحويل)

2- نفس جهد القصر (لا يجوز أن يزيد جهد القصر عن 10 % من المحول المحمل) .

3- تتابع الأوجه حيث يستخدم جهاز مبين التعاقب .

4- تتبع نفس مجموعة التوصيل .

5- يجب ألا تزيد نسبة القدرة الاسمية عن 3 إلى 1 بقدر الإمكان .

تعريف جهد القصر : هو الضغط على طرفي الضغط العالي في حالة قصر ملف الضغط المنخفض مع سريان التيار الأسمى في ملف الضغط العالي وتيار مناسـب في ملف الضغط المنخفض .

تغيير نسبة التحويل لمحولات القدرة

من الشروط العامة للتغذية بالكهرباء :

1- استمرارية التغذية .

2- ثبات الضغط عند المستهلكين .

ونظراً لزيادة التحميل على الشبكة قد يؤدى إلى انخفاض الجهد عنـــد المـــستهلكين لذلك يجب رفع هذا الجهد بواسطة التحكم في نسبة تحويل محول التوزيع ويستخدم لذلك نوعين من المفاتيح :

1- مفتاح تغيير نسبة التحويل عند اللاحمل .

2- مفتاح تغيير نسبة التحويل تحت الحمل .

الفصل الثالث

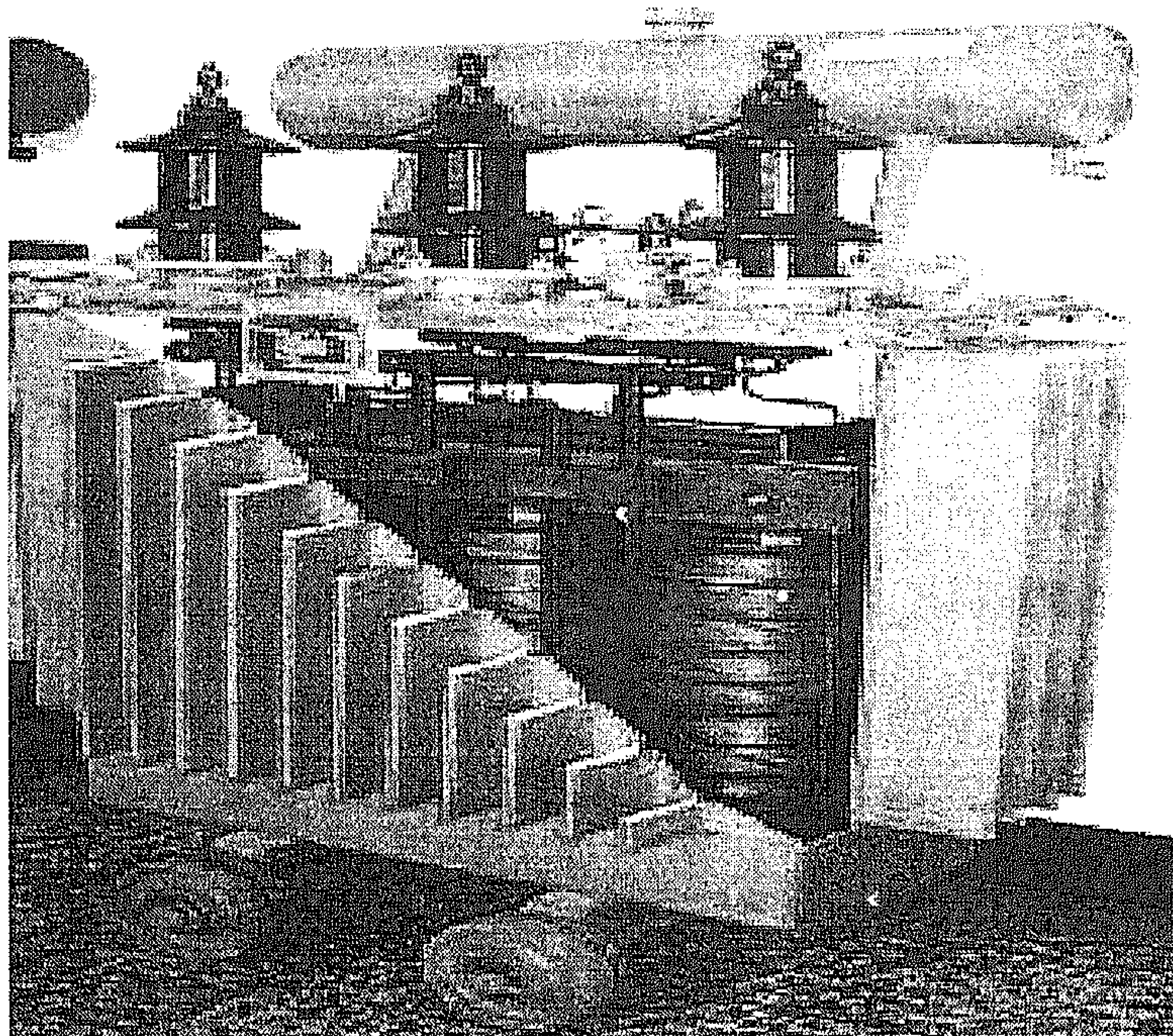
صيانة واختبار المحولات

الفصل الثالث
صيانة واختبار المحولات

تبريد المحولات

تمديد العمل في درجات حرارة مرتفعة يؤدي بشكل خاص إلى إلحاق أضرار في عزل المحول. محولات الإشارة الصغيرة لا تولد حرارة كبيرة وتحتاج إلى النظر قليلا إلى الإدارة الحرارية. محولات القدرة والتي تصل إلى بضع كيلو فولت أمبير يمكن أن تكون طبيعية تبريد الهواء convective ، وأحيانا بمساعدة المراوح. احتياطات خاصة يجب أن تؤخذ في الاعتبار لتبريد المحولات عالية القدرة ، المحولات كبيرة الحجم تحتاج إلى تصميم دقيق لنقل الحرارة من الداخل. بعض محولات القوى الكهربائية تكون مغمورة في زيت خاص بوصفها وسط التبريد ، وبالتالي تمديد عمر العزل ، وتساعد على الحد من تفريغ الكورونا. الزيت مكرر بدرجة عالية من الزيوت المعدنية التي لا تزال مستقرة في درجات الحرارة المرتفعة بحيث أن القوس الداخلي لا يتسبب في الانهيار أو الحريق ؛ المحولات المستخدمة داخل مباني يجب أن تستخدم المنظمات السائلة غير القابلة للاشتعال. الخزانات المملوءة بالزيت عادة لها مشعات التي توزع حرارة الزيت بواسطة ظاهرة الحمل الطبيعية ؛ المحولات الكبيرة تستخدم التداول القسري للزيت عن طريق مضخات كهربائية ، بمساعدة من المراوح الخارجية أو المبادلات الحرارية المبردة بالماء. المحولات المملوءة بالزيت يتم خضوعها لعمليات التجفيف لفترات طويلة لضمان ان يكون المحول خاليا تماما من بخار الماء قبل المليء بزيت التبريد. وهذا يساعد على منع الانهيار تحت الحمل الكهربائي.

المحولات المملوءة بالزيت قد تكون مجهزة بمرحل بقلز Buchholz ، والتي تكتشف الغاز المتدفق أثناء العطل الداخلي وتقوم بفصل المحول بسرعة لتجنب كارثة الفشل.



شكل (3-12) محول ثلاثي الأوجه ، تبريد زيتي محول مع إزالة الغطاء بعيدا. ويظهر خزان الزيت في أعلى المحول و زعانف الإشعاع تساعد تبريد الحرارة.

مركبات ثنائية الفينيل لها خواص التي تجعلها مفضلة لاستخدامها بوصفها المبرد ، على الرغم من القلق إزاء السمية والمخاطر البيئية على نطاق واسع أدى إلى فرض حظر على استخدامها. وهذه الايام ، الزيوت السيليكونية غير السامة ، أو المواد الهيدروكربونية المفلورة قد تستخدم ، هذا التعبير عندما يكون حساب مقاومة السائل للحريق موازنة التكاليف الإضافية لبناء قبو محول. قبل عام 1977 ، بل والمحولات التي كانت مملوءة بالزيوت المعدنية الشائعة ، أيضا تحتوي المركبات الثنائية الفينيل المتعدد الكلور على النحو الوارد في الملوثات 10-20 جزء في المليون بعض المحولات "الجافة" المغلفة في تنك مضغوط وتبريدها

بواسطة النتروجين أو غاز سادس فلوريد الكبريت. لضمان عدم تسرب الغاز وتدهور القدرة على العزل ، الغلاف المحول يكون تماما مختومة. محولات الطاقة التجريبية حوالي 2 ميجا فولت امبير ويتم بناء بمجموعة اللفات جيدة التوصيل superconducting الذي يلغي فقد الطاقة في النحاس ، ولكن ليس مفاقيد القلب الصلب. وهذه تبرد بواسطة النتروجين السائل أو الهيليوم.

زيوت المحولات Transformer Oil

الزيوت المستعملة في المحولات هي عبارة عن زيوت معدنية منتقاة (Mineral Oil) ، تحضر بواسطة تقطير البترول الخام وهي أنقى أصناف الزيوت الناتجة بالتقطير .

في الزمن الأول لصناعة المحولات كانت تستعمل زيوت نباتية ولكن كانت هذه الزيوت تتبخر بسرعة ويترسب منها مادة ضمنية. وتوجد هاتين الخاصيتين في الزيوت المعدنية ولكن بنسبه ضئيلة جداً.

والغرض من استخدام الزيت في المحولات:

أولاً : هو إيجاد وسط يحمل الحرارة من الملفات ومن الحديد الى جسم المحول الخارجي حتى تتسرب أولاً بأول إلى الهواء الخارجي .

ثانياً : هو زيادة العزل بين الملفات .

ومن أنواع زيوت المحولات:

- ❐ **Silicon based oil**
- ❐ **Mineral oil**
- ❐ **Synthetic oils**
- ❐ **Ester / vegetable oils**

والعوامل التي توثر في جودة الزيت Oil quality

- ☐ **Interfacial tension**
- ☐ **Acidity**
- ☐ **Moisture**
- ☐ **Dielectric**
- ☐ **Power factor**
- ☐ **Color**

خواص زيت المحولات :

(1) قوى العزل : Dielectric Strength

كلما كان الزيت خالي من الرطوبة (به نسبه قليلة من الرطوبة) كلما كان استعماله أفضل في الضغوط العالية .

ولذلك يكون الزيت المستعمل في الحياة العملية يجب أن لا تكسر قوته العازلة في جهاز الاختبار بالنسبة لجهد 11 ك.ف عن 30 ك.ف /2.5 مم وبالنسبة لجهد 66 ك.ف تكون 50 ك.ف/ 2.5 مم .

(2) درجة السيولة Viscosity

من المعروف أن درجه سيوله السوائل تقارن جميعها بسيولة المـــاء . لـــذلك كلما كانت سيولة الزيت كبيرة كلما كانت صلاحيته لنقل الحرارة من قلب المحـــول إلى الخارج أحسن ولكن لا يجبّ أن يكون سيولة الزيت أكثر من اللازم لأن بخار الزيت قابل للاشتعال وهذا يكون خطراً إذا تعرض لآي لهب . كذلك يكون تـــأثيره بالتبخير أعلى لذلك يجب أن تكون سيولة الزيت متوسطة الدرجة وتكون حـــوالي 2.5 (إنجلر) عند درجه حرارة 50 مْ

(3) قابليه الترسيب Sludging

عندما ترفع درجه حرارة الزيت يتحد مع الأكسجين ويكون راسب أسمر (من مركبات الإسفلت) وهذا الراسب يتركز على سطح الملفات فيقلـــل مـــن مـــساحة سطح التبريد الذي يعوق عمليه التبريد وفى نفس الوقت يكـــون عـــازل لتـــسرب الحرارة . فيجب أن يقلل من هذا الراسب الأسمر . وهذه هي المواصفات المعدنية (هيئه التوحيد القياسي بوزارة الصناعة) والبريطانية (BS) والألمانيـــة (VDE) والأمريكية لزيوت المحولات.

(4) المفقود بالبخر :

- يجب أن تكون النسبة المئوية لتبخر الزيت أقل ما يمكن وذلك لأنها تزيـــد مـــن التكاليف .

- تعرض المحول للانفجار لتراكم البخار القابل للاشتعال فوق سطح الزيت .
- وقد حددت المواصفات البريطانية أقصى مقدار للتبخر 1.6 في المائة بعد ثمان ساعات عند درجه حرارة 100° مئوية . ولكن هذه النسبة أقل بكثير في الحياة العملية لان درجة حرارة التشغيل تكون أقل من 100 مْ

(5) نقطة الاشتعال Flash Point

المقصود بنقطة الاشتعال هو درجه الحرارة التي عندها تعطى كمية من الزيت بخاراً كافياً للاشتعال المؤقت عند تعريضه للهب وإذا زادت درجه الحرارة عن حد معين فأن بخار الزيت يشتعل بدون تعرضه للهب مباشر. وقد حددت المواصفات البريطانية نقطة الاشتعال هي 145مْ

(6) درجه التجمد :

زيت المحولات لا يتجمد إلا بعد درجه 30 تحت الصفر المئوي لذلك تعتبر ليست ذات أهميه في مصر .

(7) الحرارة النوعية :

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجه حرارة جرام من المادة درجة واحدة مئوية . فكلما كانت الحرارة النوعية لزيت المحولات أعلى كلما كان الزيت أصلح للاستعمال. وحددت المواصفات البريطانية هذه الدرجة على أن تكون 0.35 & 0.5

(8) الأحماض والقلويات والكبريت والمواد الغريبة:

الأحماض والقلويات والكبريت ذات أثر شديد و سيئ على النحاس والمواد العازلة. وتقلل من قوه العزل فيجب أن تقل هذه المواد إلى أقصى حد ممكن.

(9) الكثافة :

تعتبر الكثافة من أهم خواص الزيت التي تساعد على حساب وزن كميات وكذلك تعطى فكره عن قبول الزيت للترسيب وزيت المحولات عادة سائل أصفر رائق كثافته حوالي (0.88 مم /سم3 عند 15° مئوية) وتبريده اكبر من الهواء

بحوالي 11 مرة وقوة عزله 300 ك.ف / 2.5 مم ، ومعامل تمـــدده الحجمـــى = 0.00075 سم3 /سم3 .

عيوب زيت المحولات :

1- قابل للالتهاب .

2- بخاره يختلط بالهواء وهذا الخليط قابل للانفجار .

3- شره لامتصاص الرطوبة.

اختبار زيت المحولات .

اختبار قوة العزل الكهربي Dielectric Strength

الزيت الذي يختبر كهربياً هذا يعنى أنة قد تم اختباره كيميائيا ويعتبـــر هـــذا الاختبار من أهم الاختبارات التي تجرى على زيت المحولات لأنة يوضـــح أهـــم خاصية للزيت وهى قوة العزل الكهربي للزيت .

قوة العزل الكهربي للزيت تتأثر بما تحتويه من مياه وألياف وشوائب صـــلبة أخرى والشكل التالي يوضح العلاقة بين قوة العزل الكهربي والرطوبة والـــشوائب بالزيت من الشكل يلاحظ أن قوة العزل تنخفض بشدة للزيادة البسيطة في الشوائب الصلبة وكذلك عندما يحتوى مياه 10 جزء من المليون .

وبذلك نصت المواصفات IEC على أن يكون اختبار قوة العـــزل الكهربـــي خلال ثغره 2.5 مم عند زيادة في المعدل 2 ك.ف في الثانية حيث يبدأ من الصفر ويرتفع تدريجياً حتى يصل إلى جهد انهيار عزل الزيت .

Dielectric breakdown

- Voltage at which the oil begins to conduct
- Is reduced by moisture and contaminants
- Two ASTM test methods:
- D-877
- D-1816
- Can be corrected

يستخدم لإجراء تجربة اختبار قوة عزل الزيت أناء من الزجاج أو الخزف الصيني يمر به كرتان من النحاس قطر كل منهما 16 مم والمسافة بينهما 2.5 مم.

خطوات التجربة :

1- توضع عينة الزيت والتي تختار من أسفل الوعاء ثم توضع في الإناء الزجاجي إلى مستوى معين به.

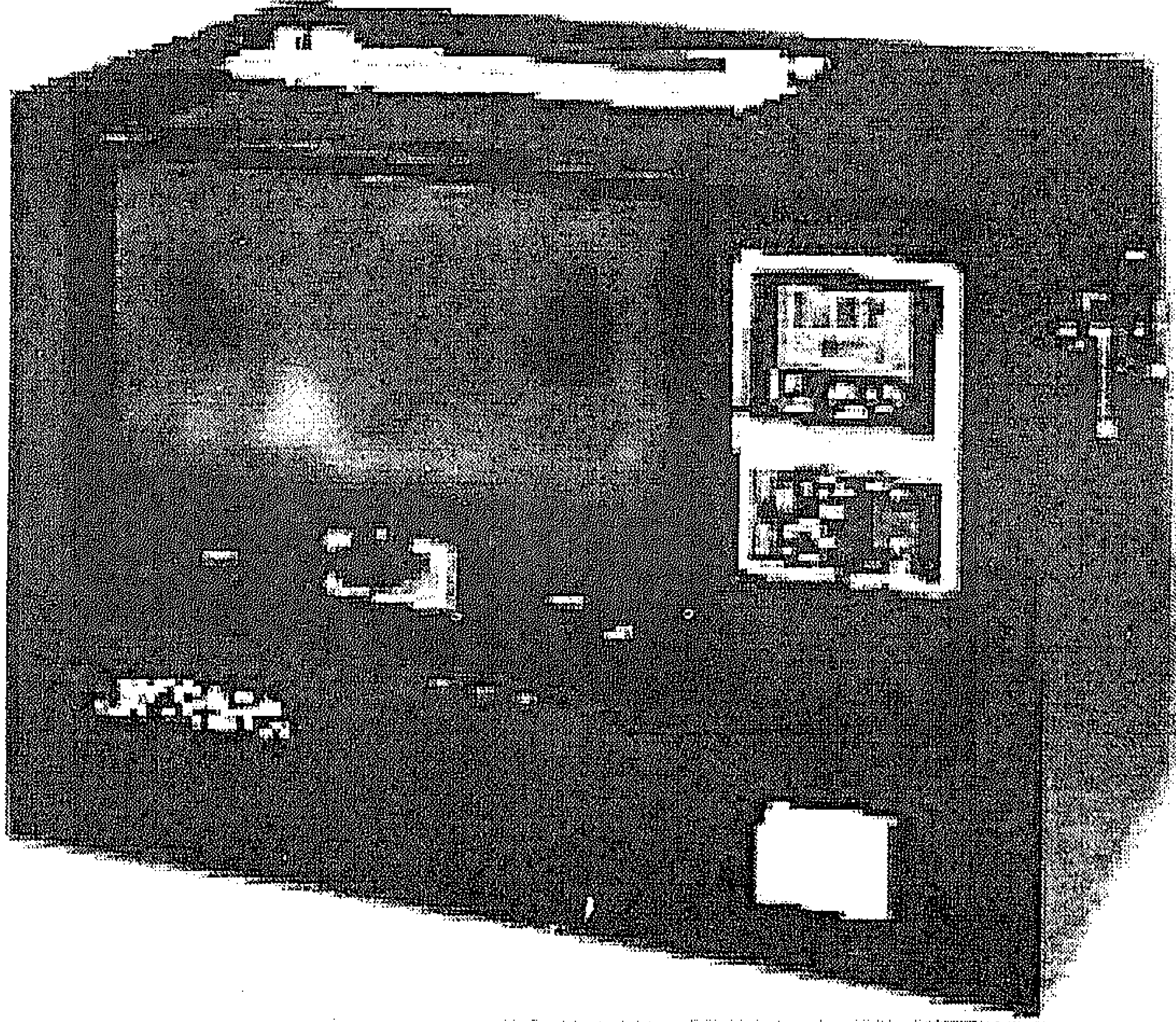
2- تترك حتى يثبت مستواها ولمدة 10 دقائق .

3- توصل التجربة كما بالشكل (12) .

4- ترفع الضغط تدريجياً مع ملاحظة العينة .

5- مع استمرار رفع الضغط يحدث وميض بسيط نتيجة لتجمع الشوائب تحت تأثير المجال الكهربي . ولا تعتبر هذه درجة انهيار عزل الزيت .

6- مع استمرار رفع الضغط تحدث شرارة مستمرة وتكون هذه نقطة انهيار عزل الزيت فيقرأ الضغط من على جهاز الفولتميتر فيكون هو جهد الكسر .

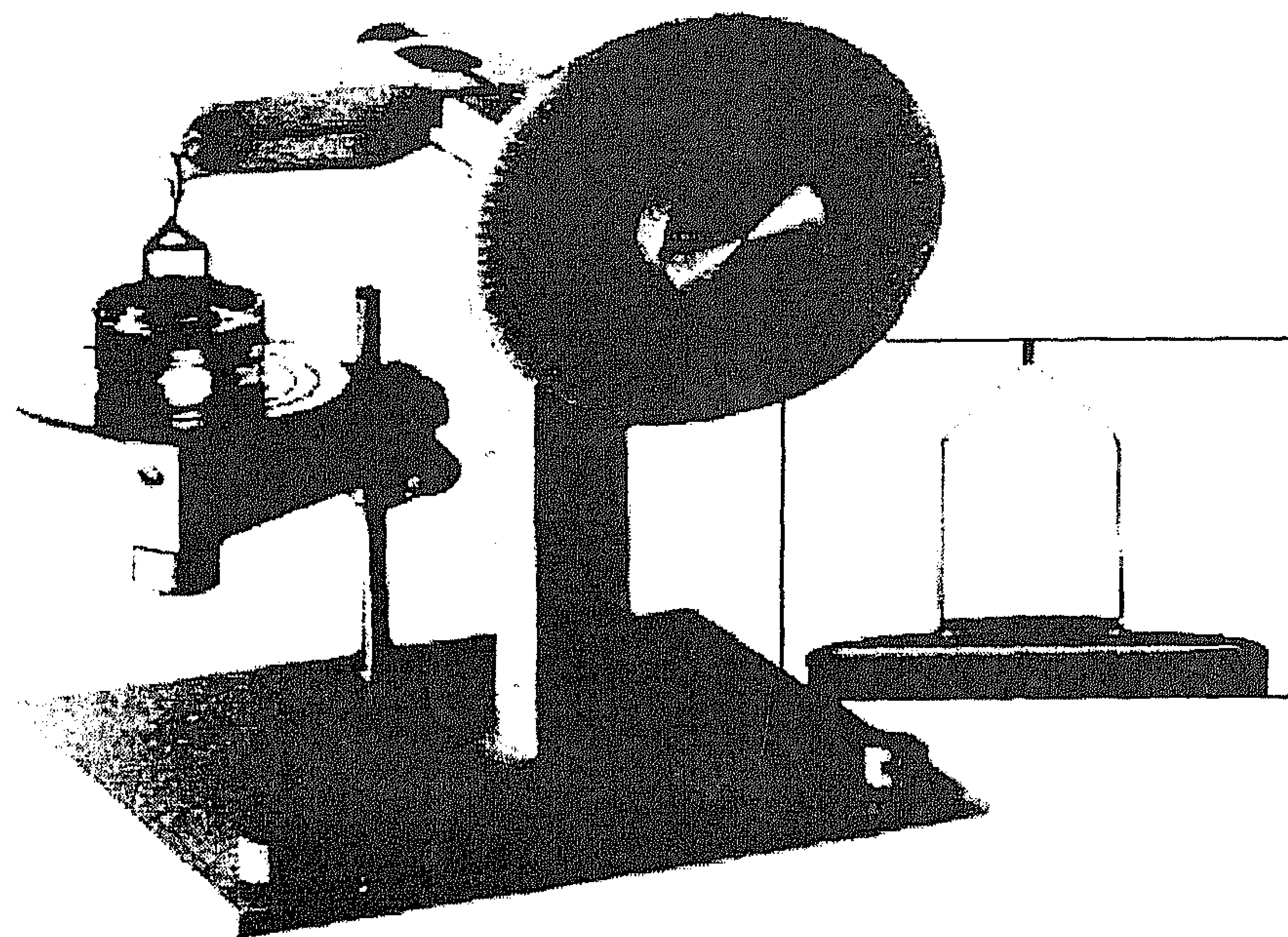


جهاز اختبار قوه العزل الكهربي

الغرض من الاختبار قياس قوة العزل الكهربي للزيوت المستخدمة فـــي محـــولات القدرة الكهربية والشكل التالي يوضح الشكل العام لجهاز اختبار زيت المحولات.

Interfacial Tension - IFT

- ❐ Measure of contamination
- ❐ Decreasing IFT=Increasing Contamination
- ❐ Can be corrected

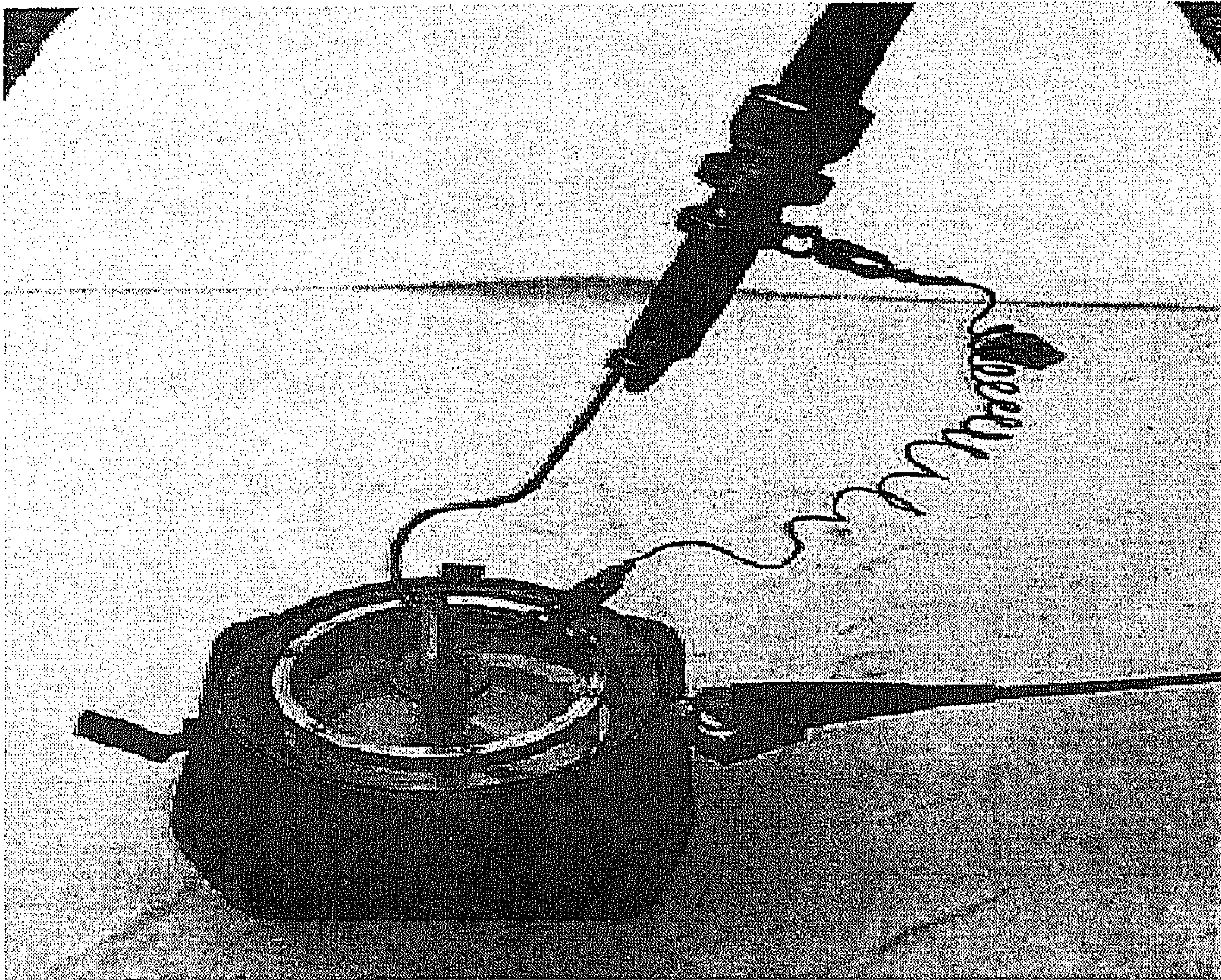


Transformer Oil Testing

Acidity

- □ Measure of oxidation
- □ Creates acidic compounds
- □ Build-up of compounds forms sludge
- □ Affects dielectric and cooling
- □ Can be corrected

Power factor
- Indication of contamination and/or deterioration
- moisture
- carbon
- varnish
- soaps
- other conducting matter



Color
- Higher Number ❑ Darker Oil
- Darker Oil ❑ More Contamination, Deterioration
- Oil with Number of 5 is almost black

تبريد المحولات

نظراً لتحول الفقد الكهربي داخل المحولات الى حرارة فان درجة حرارتهـا ترتفع مما يؤثر على متانة العزل وقد يجعلها تنهار ، لـذلك فأنـه يجـب تبريـد المحولات . وحيث أن مفاقيد المحول متناسبة مع قدرته فأنة يمكن تبريد المحولات بعدة طرق أهمها :

1- **تبريد طبيعي بالهواء** : تستخدم في المحولات صغير القدرة حيث تـشع الحرارة الى الجو المحيط بواسطة تيارات الحمل في الهواء .

2-**تبريد بالهواء المسلط** : تستخدم في المحولات المتوسطة القـدرة والتـى توضع في أماكن ضيقة ولا تسمح بوضع المحول في خزان للزيت أو قد يوضـع المحول في خزان للزيت ويسلط علية تيار هوائى بواسطة مراوح موجه على جسم المحول .

عيوب التبريد بالهواء :

(أ) لا يسمح بتحميل المحول إلا لفترات زمنية صغيرة .

(ب) قلة متانة العزل.

(ج) تعرض الملفات للأتربة والأوساخ مما يؤدى إلى أضعاف متانة العزل .

(د) زيادة حجم الملفات ليتخللها الهواء .

3- التبريد بالزيت الطبيعي :

حيث يوضع القلب والملفات في وعاء مملوء بالزيت المعدني المنقـى بعنايـة فائقة حيث يتم تبريد القلب والملفات بواسطة تيارات الحمل في الزيت والذي يشعه الى الجو الخارجي ، ولزيادة سطح التبريد قد يكون سطح الإناء متعرج أو يزود الإناء الخارجي بمواسير لزيادة سرعة تبريد الزيت .

4- التبريد بالزيت المبرد :

في المحولات الكبيرة والعالية القدرة الكهربية لا يكفى تبريد الزيت بالهواء الطبيعي نظراً لارتفاع الحرارة الناتجة من المفاقيد الكهربية ولذلك فأنة تستخدم عدة طرق لتبريد الزيت المستخدم في تبريد المحول منها :

(أ) بواسطة الهواء المسلط : حيث يسلط على جسم الوعاء الرئيسي للمحول مجموعة مراوح لدفع الهواء والعمل على تبريد الزيت .

(ب) بواسطة تبريد الزيت بسحبة في أنابيب وتمريره بواسطة طلمبة في إناء به ماء بارد ثم يدفع إلى داخل وعاء المحول ويجب أن يلاحظ أن تكون سرعة طلمبة السحب مساوية لسرعة طلمبة الدفع حتى يصير مستوى الزيت ثابت داخل الوعاء .

(ج) يتم دفع ماء بارد في مواسير تبريد داخل وعاء المحول وبذلك تنقل الحرارة من الزيت الى الماء الى خارج الوعاء .

ويلاحظ في هذه الطريقة آن تكون أنابيب التبريد خالية من الثقوب ومصنوعة من النحاس الأحمر المعامل كيميائيا لعدم التآكل والتفاعل مع زيت المحول.

مميزات التبريد بالزيت :

1- زيادة المتانة الكهربية للعزل .

2- يسمح بتحميل المحولات لفترات طويلة .

3- الاتزان الكهروحرارى داخل جسم المحول .

4- صغر حجم الملفات بضم الثغرات الهوائية .

عيوب التبريد بالزيت :

1- قد يحث انسداد في أنابيب التبريد مما يعرض المحول لرفع درجة حرارته .

2- قد يحدث انفجار نتيجة تفاعل الهواء المتسرب مع الغازات الناتجة من الزيت .

والجدول التالي يوضح طـــرق التبريـــد المختلفـــة للمحـــولات حـــسب المواصفات القياسية العالمية.

Class	Method of cooling
OA	Liquid-immersed, self-cooled
OA/FA	Liquid-immersed, self-cooled/forced-air-cooled
OA/FA/FA	Liquid-immersed, self-cooled/forced-air-cooled/forced-air-cooled
OA/FA/FOA	Liquid-immersed, self-cooled/forced-air-cooled/forced-liquid-cooled
OA/FOA/FOA	Liquid-immersed, self-cooled/forced-air, forced-liquid-cooled/forced-air, forced-liquid-cooled
FOA	Liquid-immersed, forced-liquid-cooled with forced-air-cooled
FOW	Liquid-immersed, forced-liquid-cooled with forced-water-cooled
OW	Liquid-immersed, water-cooled
OW/A	Liquid-immersed, water-cooled/self-cooled
AA	Dry-type,* ventilated self-cooled
AFA	Dry-type,* ventilated forced-air-cooled
AA/FA	Dry-type,* ventilated self-cooled/forced-air-cooled
ANV	Dry-type,* non-ventilated, self-cooled
GA	Dry-type,* sealed self-cooled

Source: Based on IEEE Std C57.12.00-1987 [B32] and IEEE Std C57.12.01-1989 [B33]
*Dry-type: Including those with solid cast and/or resin-encapsulated winding.

جدول (3-1) طرق التبريد المختلفة للمحولات حسب المواصفات القياسية العالمية

تحليل الغازات الذائبة في زيت المحولات

جميع التحليلات ، حسب المواصفات القياسية العالية ، موضوعة لمحـــولات قدرة ذات ملفات مصنعة من النحاس ، والعـــزل المـــستخدم عبـــارة عـــن ورق السليولوز ، أو مواد صـــلبة مكبوســـة ، المحـــول مملـــوء بالزيـــت الطبيعـــي الهيدروكربوني (Hydrocarbon Mineral Oil) .

تعمل محولات القدرة تحت ظروف محيطة متغيرة ، وحالات أحمال تعتمد على تشغيل المنظومة الكهربائية .خلال تشغيل المحولات ، يخضع عزل ملفات المحولات لدرجات حرارة عالية واجتهادات عالية واجتهادات حرارية وكهربية مسببة تأكل للمواد العازلة الصلبة ، مثل الورق المضغوط ، ويتم تشكيل غازات من أنواع مختلفة ، حيث تذوب هذه الغازات في زيت المحول ، ويمكن الكشف عنها بعمل تحليل كيميائي ، من الأسباب الرئيسية لحدوث تأكل أو انهيار المواد العازلة حدوث البقع الساخنة (Hot Spots) ، والقوس الكهربي (Arcing) . مثل هذه الأعطال لا تسبب انهيار لحظى أي يمكن أن يستمر عمل المحول في وجود هذه الأعطال ولكن مقنن المحول ينخفض نتيجة وجود هذه الأعطال .

يمكن تقسيم الغازات الناتجة كالآتي :

1- غازات ناتجة من تحليل الزيت هى :

- غاز الهيدروجين ويرمز له H_2
- غاز الميثان ويرمز له CH_4
- غاز الايثان ويرمز له C_2H_6
- غاز الاثيلين ويرمز له C_2H_4
- غاز الاستيلين ويرمز له C_2H_2

2- غازات ناتجة من تحلل المواد السيليولوزية (Celluosie) وهى :

أول أكسيد الكربون ويرمز له CO

ثاني أكسيد الكربون ويرمز له CO_2 .

نتيجة درجات حرارة التشغيل العادية يحدث تحلل بسيط للزيت وينتج عنه غازي هيدروجين وميثان ، إذا كان مستوى الطاقة مرتفع ، وحدثت بقع ساخنة (Hot Spots) يمكن أن ترتفع درجات الحرارة من 150°م إلى 1000° م مسببة تحلل الزيت . ويمكن حدوث أي من الحالات الآتية :

- عند درجة الحرارة المنخفضة ينتج غاز الميثان CH_4
- عند درجة الحرارة المرتفعة ينتج غاز الايثان C_2H_6 يصاحبه قوس كهربى.
- إذا ارتفعت درجة الحرارة الى 3000° م ينتج غاز الاستيلين C_2H_2 .

* يجب معرفة أنه نتيجة التشغيل العادي يحدث تشكيل للغازات ، ولا يكون هناك أى أعطال ، كذلك في المحولات الجديدة أو المحولات التي تم إعادة ملئها بالزيت يمكن أن تتكون غازات بالزيت ، مصادر هذه الغازات يمكن تلخيصها كالاتي :

1- تشكيل غازات خلال عمليات التكرير ، ولا يمكن الـتخلص منهـا بواسـطة عمليات طرد الغازات من الزيت (Oil Degassing) .

2- غازات تتشكل خلال عمليات التخفيف وغمس المحولات في المصنع .

3- غازات تتشكل نتيجة أعطال سابقة ولم يمكن التخلص منهـا بالكامـل أثنـاء عمليات التكرير .

4- غازات تتشكل أثناء عمليات التصليح مثل لحام النحاس ،.......

للتغلب على هذه المشاكل ، تقترح المواصفات العالمية القياسـية ، أن يـتم عمل تحليل للغازات الذائبة بعد تـشغيل المحـول ، وتـسمى (Benchmark) وتعتبر كمرجع للمحول عند عمل تحليل لغازات المحول بعد ذلك ، وتختلف مـن محول الى محول أخر .

خلال عمليات التشغيل العادي ، يمكن أن تتشكل غازات أول وثانى أكـسيد الكربون (CO، CO_2) ، وعلى ذلك فان جميع الغازات تتركز بنسبة أكبر كلمـا زاد عمر المحول .

المواد العازلة السليلوزية Cellulosie

ينتج عن تحلل المواد العازلة السليولوزية كل من غازي أول وثاني أكسيد الكربون (CO,CO_2) بنسب مرتفعة أكبر من الغازات الأخرى ، وكذلك ينتج كـل مـن أول وثاني أكسيد الكربون نتيجة التشغيل العادي للمحولات ، وتزيد النسبة بزيـادة عمر المحول ، بالإضافة إلى أنة نتيجة عمليات التجفيف ، ثـم مـلء المحـولات

بالزيت بالمصنع ، يحدث تحليل للمواد العازلة السليولوزية ، نتيجة لذلك فأن بعضا من غازي (CO.CO2) تبقى بالمحول .

كذلك فأن المحولات التي تملأ بغاز CO أثناء عمليات النقل ، يكون من الصعوبة التخلص منة بعد ذلك ، ولذا يجب أن تؤخذ في الاعتبار بعد ذلك ، ، عند عمل تحليل لنسب الغازات الذائبة بالإضافة إلى ذلك فان المحولات التي تحتوى على خزان احتياطي يمكن أن يدخل غاز CO2 مع الهواء الجوى إلى حوالي 300 ميكرولتر لكل لتر من الزيت ، وعلى هذا فأنه عند تحليل الغازات الذائبة بالزيت تكون كمية CO2 الناتجة إما من المواد السليولوزية نتيجة الأسباب السابقة ، أو نتيجة عطل بالمواد السليولوزية .

التركيز المسموح به للغازات المذابة في زيت المحولات

الغاز	أقل من أربع سنوات في الخدمة	4-6 سنوات في الخدمة	أكثر من عشر سنوات في الخدمة
هيدروجين	150/100	300/200	300/200
ميثان	70/50	150/100	300/200
استلين	30/20	50/30	150/100
ايثلين	150/100	200/150	400/200
ايثان	50/30	150/100	1000/800
أول أكسيد الكربون	300/200	500/400	700/600
ثاني أكسيد الكربون	3500/3000	5000/4000	12000/9000

الوحدات جزء من المليون Part per Million (PPM)

الطرق العامة لتفسير النتائج

1- قوس كهربى في الزيت بدون تحلل لأي مواد عازلة صلبة .

الغازات المخلوطة تكون :

هيدروجين 60-80% من الحجم .

أستلين 10-25% من الحجم .

ميثان 1.5-3.5% من الحجم .

اثيلين 1- 2% من الحجم .

2- قوس كهربي خلال المواد العازلة الصلبة :

الغازات الناتجة من حدوث قوس في الزيت مع جزء خلال مادة عازلة صلبة مثل الورق أو الورق المضغوط عبارة عن كمية كبيرة مـــن غـــاز الهيـــدروجين والاستيلين مصحوباً بكمية كبيرة من أول أكسيد الكربون ، نسبة الميثان اكبر منـــه في الحالة الأولى .

3- تفريغ جزئي في مادة السليلوز وفى الزيت :

الغازات الرئيسية في هذه الحالة هـــي الهيـــدروجين ، ميثـــان ، أول أكـــسيد الكربون ، ثانى أكسيد الكربون ، بينما غاز الاسيتيلين لا يظهر .

4- تحليل حراري للزيت :

يحدث تحليل حراري عند درجة حرارة 400 مْ ويزيد بزيادة ارتفاع درجة الحرارة وشكل الغازات يكون جزيئيات منخفضة هيدروكربونية أساسا ، ميثان ، إيثان ، أسيتيلين ، هيدروجين عند درجة حرارة 600 مْ الغازات المخلوطة تتكون من ميثان وهيدروجين . يوجد أيضا ثانى أكسيد الكربون ولكن تتحلل عند درجات الحرارة الأعلى .

5- تحلل حراري لمادة السليلوز وللزيت :

فى هذه الحالة الغازات الأساسية عبارة عن ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون بالإضافة الى الهيدروجين عند درجات الحرارة أعلى من 500 مْ .

الجدول يلخص التفسير العام للنتائج .

طريقة روجرز لتفسير النتائج Roger's Method هذه الطريقة ممتازة في حالة الغازات الهيدروكربونية . بمعرفة نسبة الغاز يمكن الكشف عن نوع العطل .

باستخدام هذه الطريقة لا يحتاج لمعرفة حجم عينة الزيت .

فى هذه الطريقة يتم استخدام أربع نسب للغازات هى : ميثان \ هيدروجين ، ايثان \ ميثان ، ايثلين \ ايثان ، استيلين \ اثيلين .


C_2H_2/C_2H_4، C_2H_4/C_2H_6، C_2H_6/CH_4 ، CH_4/H_2

هذه النسبة يمكن أن تكون اكبر من الواحد أو اقل .

تفسير النتائج بمعرفة نسبة التركيز للغازات الذائبة في الزيت الطريقة المتفق عليها لتشخيص الأعطال عن طريق حساب النسبة بين تركيز الغازات التالية .

استيلين \ اثيلين ، ميثان \ هيدروجين ، ايثلين \ ايثان .


. C_2H_2/C_2H_4، C_2H_4/C_2H_6 ، CH_4/H_2

تحليل الغاز المذاب (<u>DGA</u>)

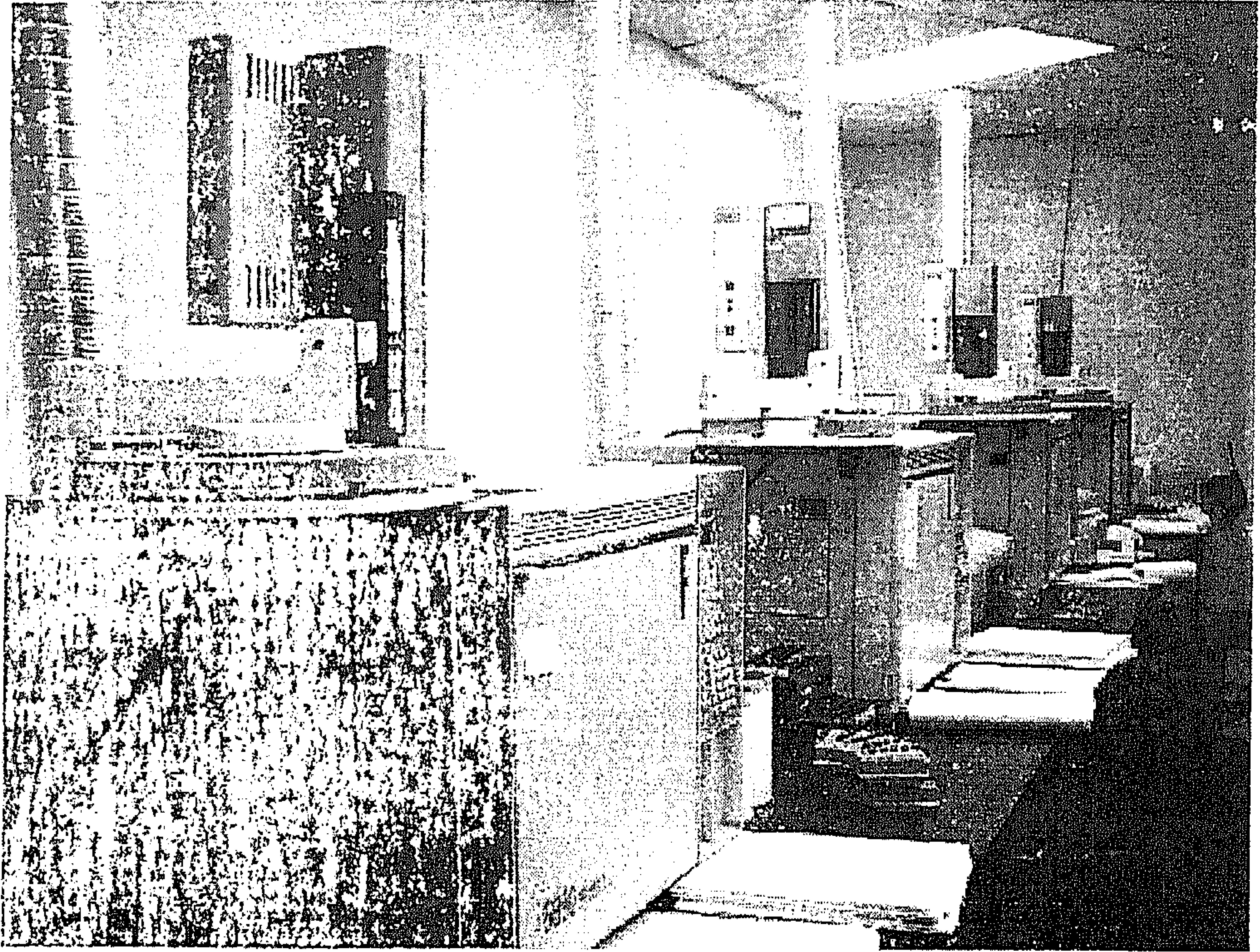
يعتبر تحليل DGA واحدا من أهم أدوات التشخيص المتاحة. ويعتبر بمثابة تحليل الدم بالنسبة للمحول، وهو مجموعة الإجراءات المستخدمة لتقييم حالة وجود المحولات المملوءة بالزيت من تحليل الغازات الذائبة في التبريد / الوسط العازل. وهذا الأسلوب الراسخ فعال من حيث التكلفة، وتوفير المعلومات الأساسية و البسيطة نسبيا، مبنية علي التجارب على أساس اخذ عينات الزيت. في الوقت الذي عادة ما يتم تحليلها في احد المختبرات ، والأجهزة على الكمبيوتر متاحة أيضا. النتائج تكشف الكثير عن الحالة الصحية للمنشأة بما فيها الوضع الراهن، أي تغيرات تحدث ، وآثار التدهور الناتجة عن الحمل الزائد ، والتقادم ، من بداية الأعطال البسيطة وعلى الأرجح السبب الرئيسي للعطل. وتجدر الإشارة إلى أن الخطأ الشديد يمكن أن ينتج الغازات الحرة التي تجمع في مرحل بوقلز .

Dissolved gas analysis

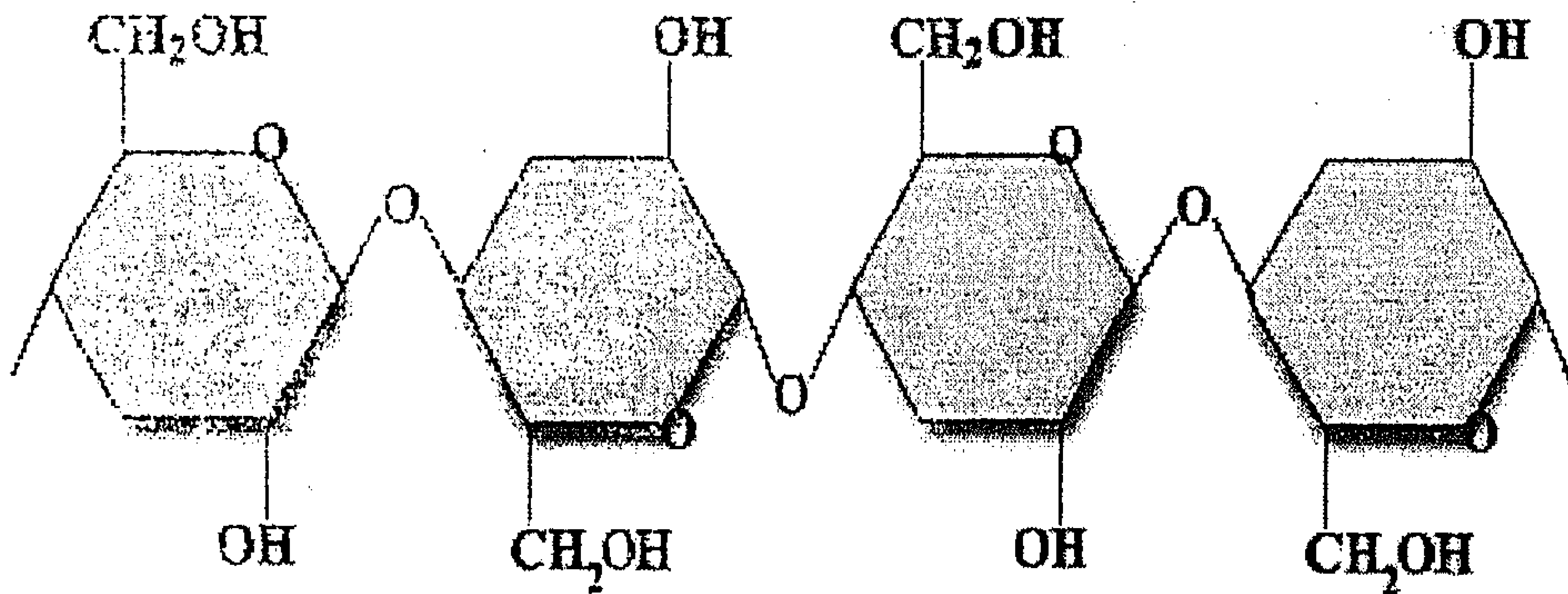
☐ Partial discharge (Corona - "electrical rust("
☐ Hydrogen H_2
☐ High temperature heating
☐ Methane CH_4, Ethane C_2H_4, Ethylene C_2H_6
☐ Arcing
☐ Acetylene C_2H_2
☐ Cellulose involved
☐ Carbon monoxide C0, and Carbon Dioxide CO_2

Cellulose insulation

☐ The Life of the Transformer is directly related to the condition of the cellulose
☐ Paper – windings, leads, shields
☐ Pressboard – spacers, blocks, oil flows, tubes
☐ Particle boards – supports
☐ Laminates – structures, supports
☐ Wood - structure



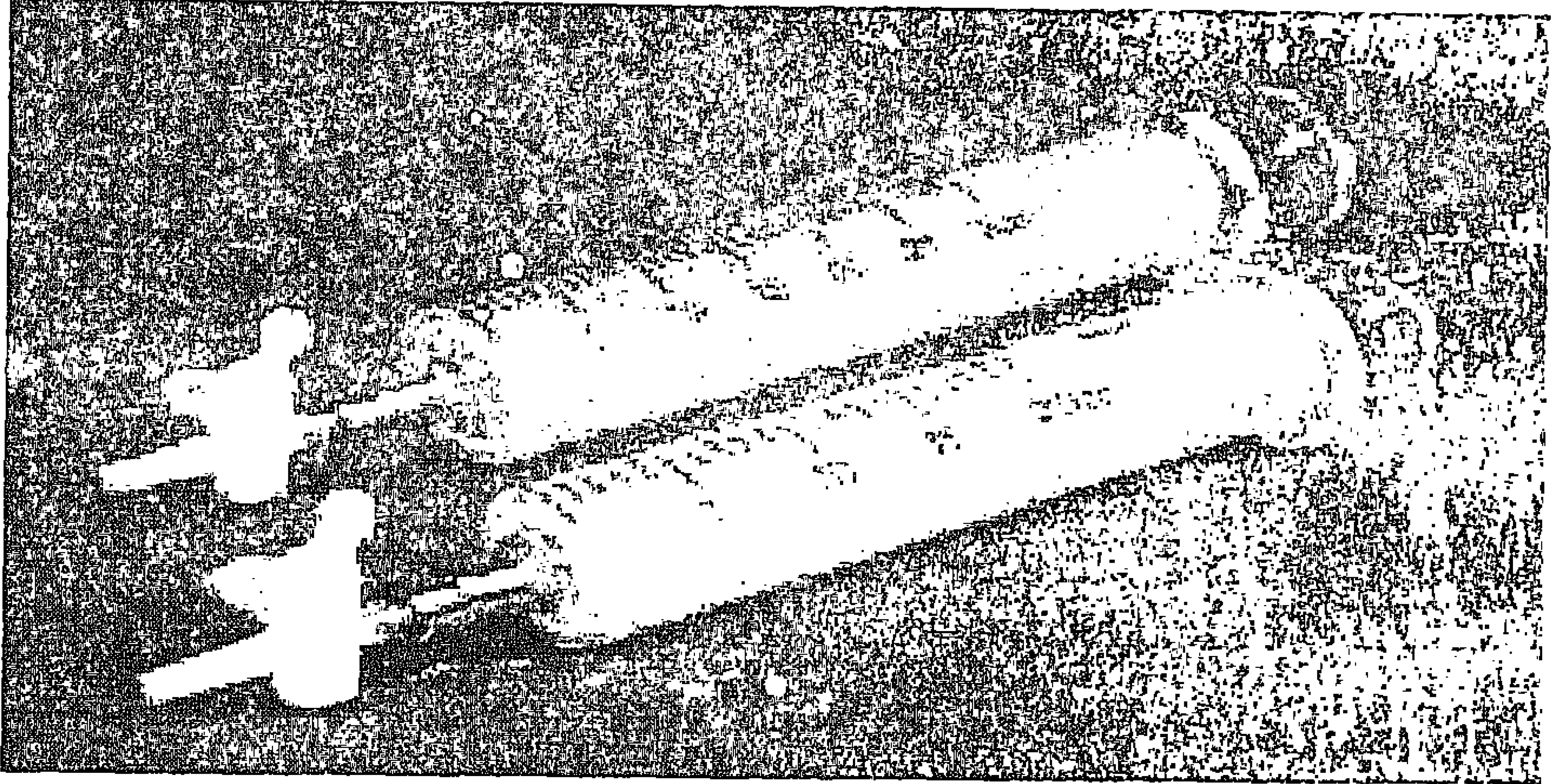
The Cellulose Polymer Chain
The life of a transformer is directly related to the condition of this polymer chain.

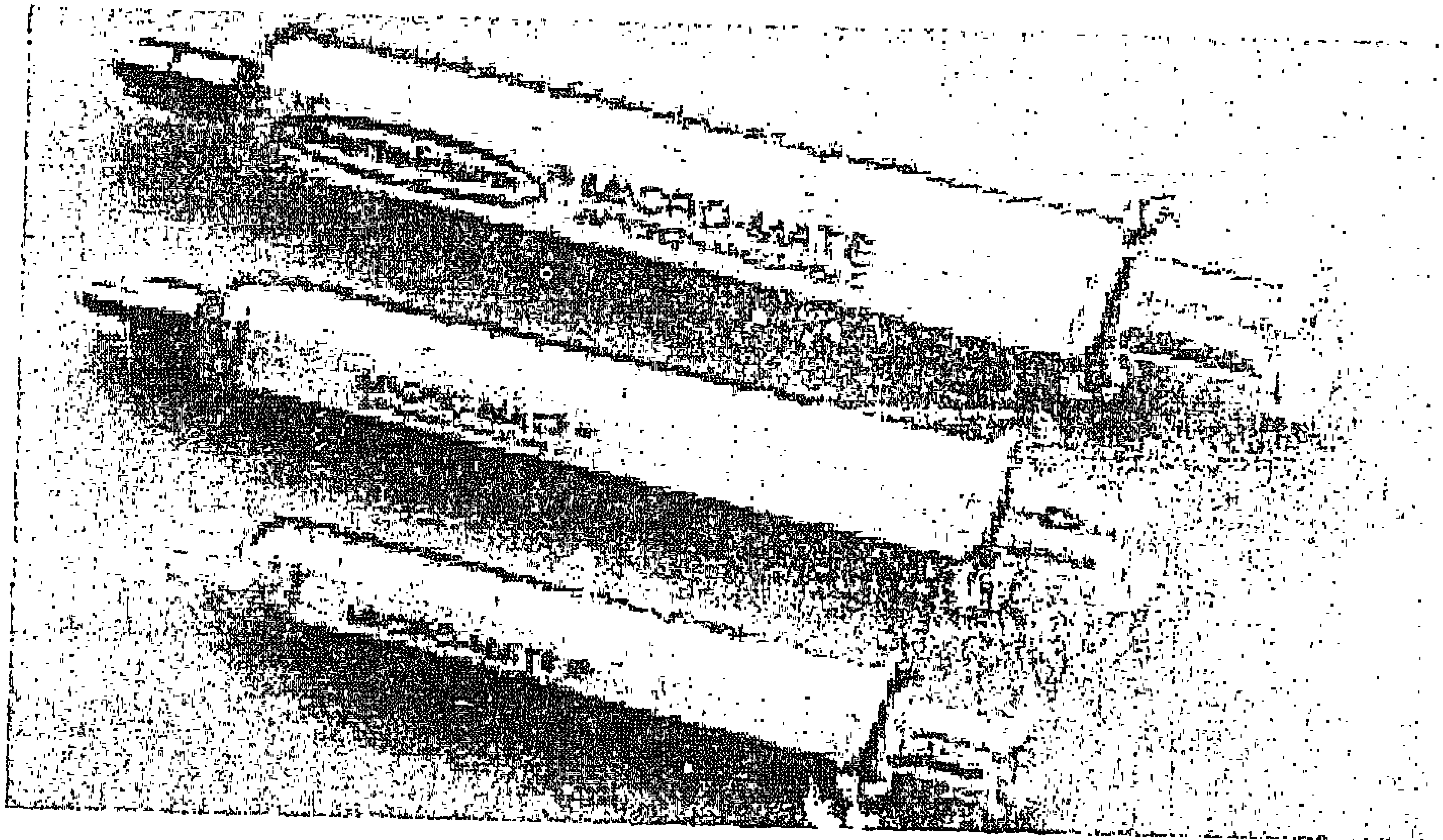


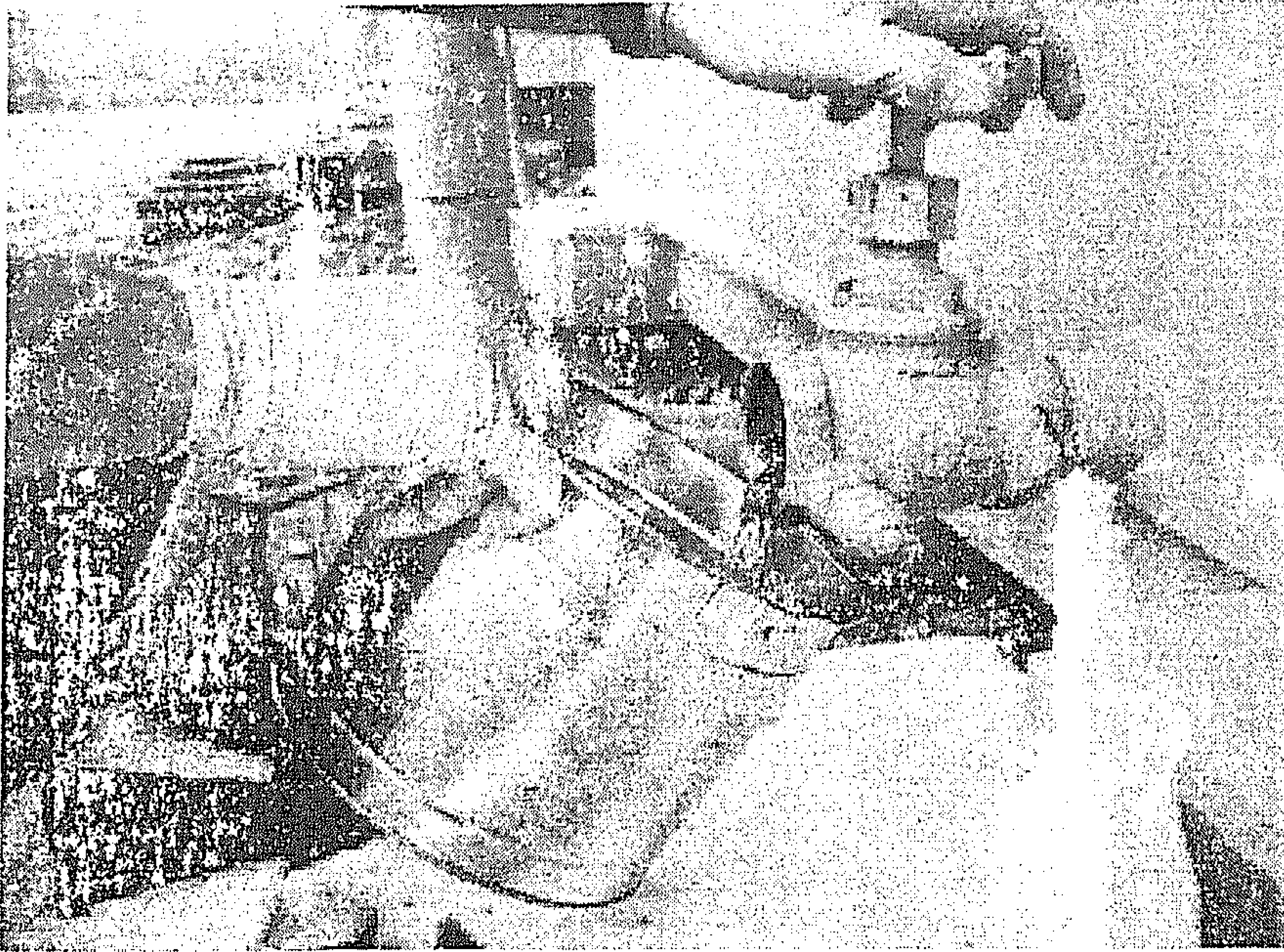
اخذ عينة الزيت Oil sampling

من المهم أن تؤخذ عينات الزيت بعناية لتجنب التلوث أو فقد الغاز. تقنيات تختلف عن استخدام الحقن إلى مجموعات تتألف من سدادات bungs ، وأنابيب

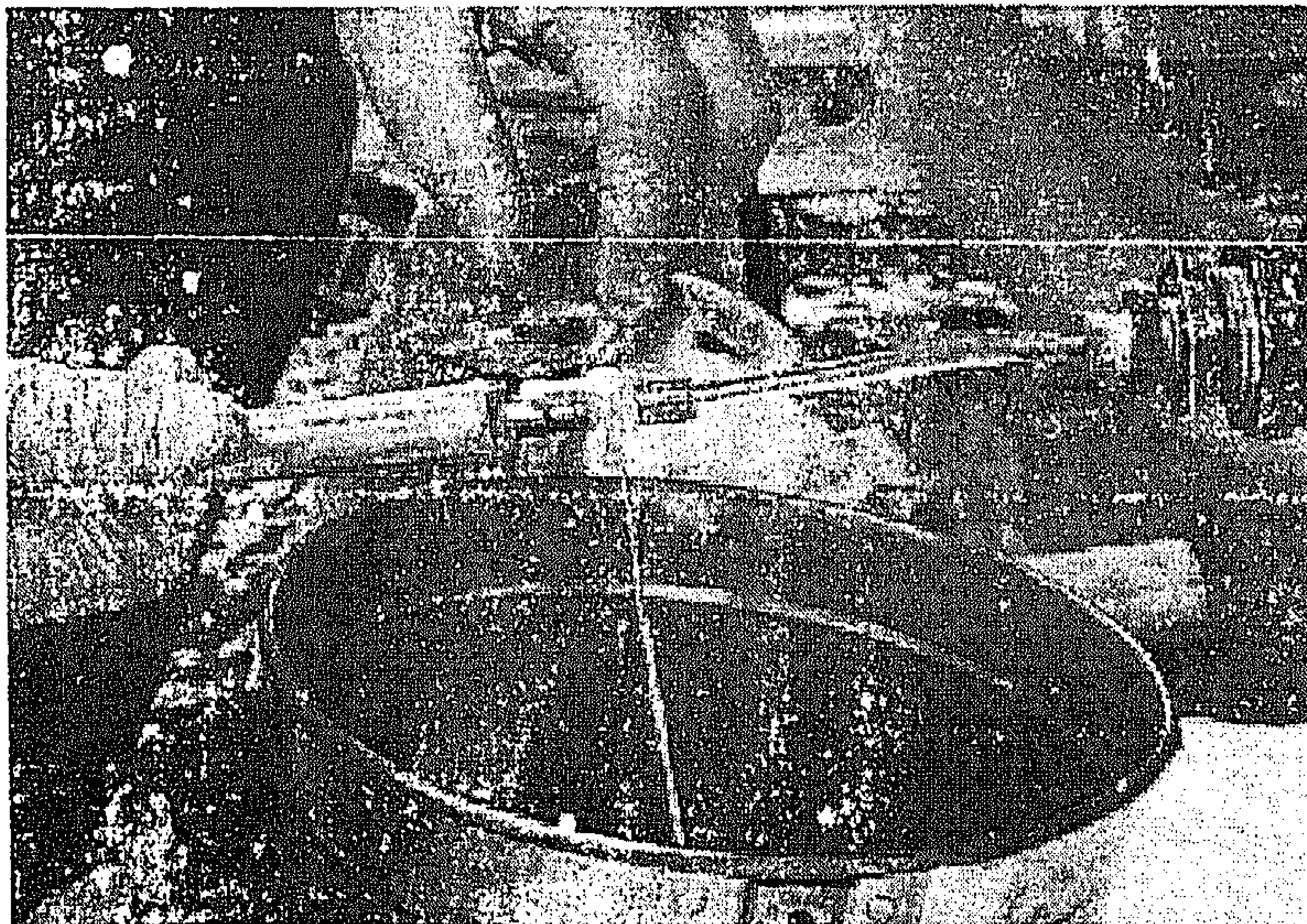
وقوارير مختومة sealed. ولا يكون الاختبار جيدا إلا إذا كانت العينة جيدة ويتم فتح صمام التصريف Drain valve، وملء دلو وسكب محتوياته في وعاء ويتم اخذ العينة من الوعاء بواسطة سرنجة، ويراعى أن تكون العينة خالية من الفقاعات الهوائية.



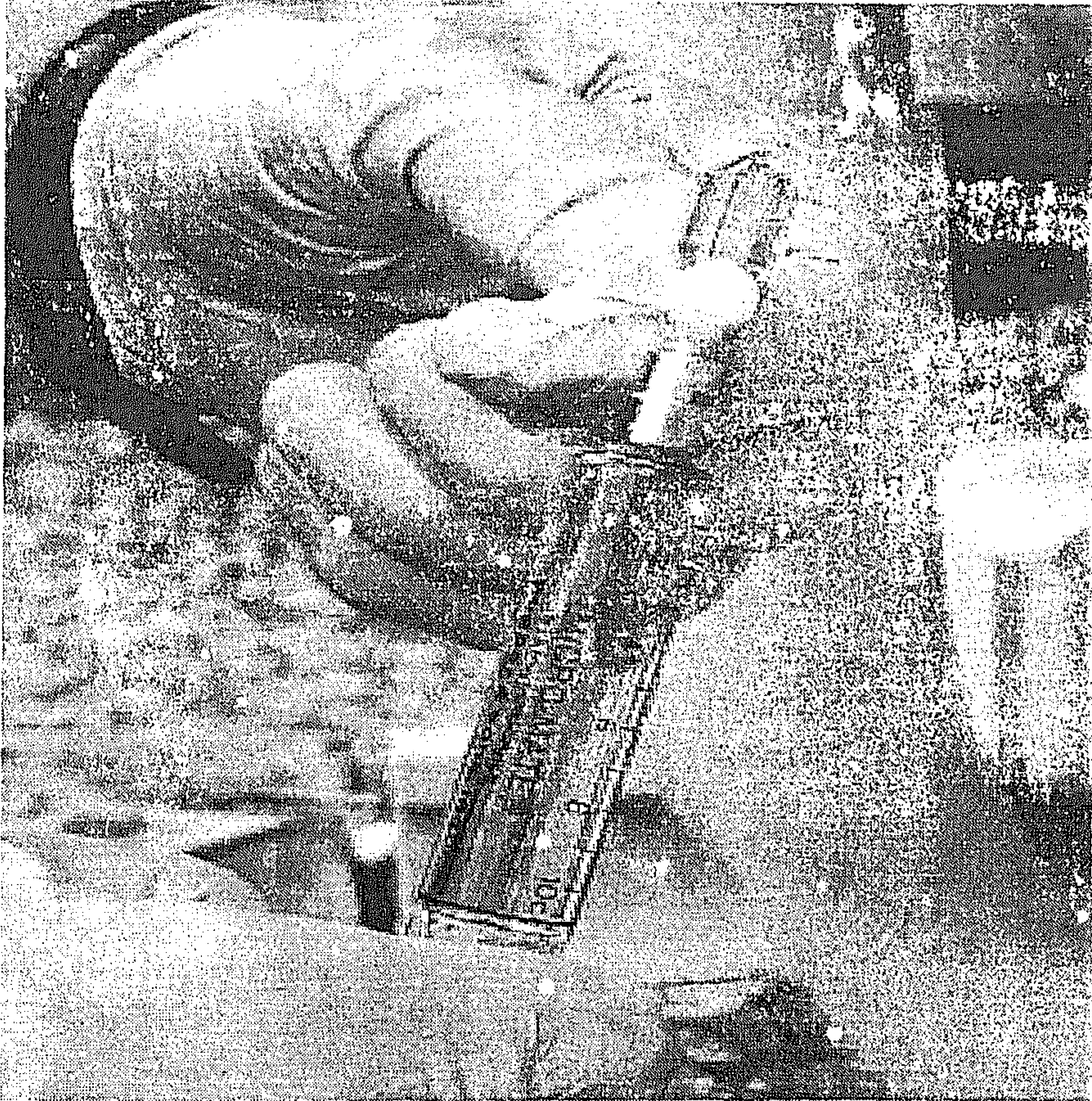




Flush drain valve, tubing, and syringe



Do not pull back on the syringe barrel – apply slight resistance and allow fluid pressure to fill syringe.



Filled syringe should have no bubbles, but some may form later – do not release these

في المختبر

في المختبر يجب أن يتم استخراج خليط من الغازات من الزيت ، على سبيل المثال من تطبيق الفراغ. يتم تمرير المخلوط على كروماتوجراف chromatograph حيث يتم فصل المكونات الفردية ، وتحديد كمياتها ومكونتها. وتقدم النتائج عادة في شكل جداول مدرجة مع كل غاز جنبا إلى جنب مع الكمية التي وجدت في أجزاء في المليون من حيث الحجم.

تفسير النتائج

تفسير النتائج وهو علم متخصص. مع المعرفة والخبرة من نتائج اختبار DGA يمكن استخدامها لإنتاج صورة مفصلة ودقيقة لكل بند في المحول. وهذا ممكنا من خلال حقيقة أن ظروف مختلفة داخل محول تؤدي إلى كميات وأنواع مختلفة من الغاز. فعلى سبيل المثال ، الاسيتيلين هو فقط ينتج عن طريق القوس الكهربي.

قياس الغازات

أهم الغازات التي يتم قياسها ومصادرها هي كما يلي :

من الزيت

الهيدروجين H_2

الميثان CH_4

الإيثان C_2H_6

الإثيلين C_2H_4

الاسيتيلين C_2H_2

من الورق

ثاني أكسيد الكربون ثاني أكسيد الكربون

أولَ أكسيد الكربون

تطبيقات تحليل الغاز المذاب DGA

تطبيقات تحليل الغاز المذاب DGA يمكن أن تستخدم في مجموعة متنوعة من الطرق مثل :

- الرصد المستمر لأخذ العينات .
- أخذ العينات لمرة واحدة مع تدقيق النتائج والمعايير الإحصائية.
- أخذ عينات دورية من بند واحد لتحديد الاتجاهات.

- أخذ العينات الانتقائي من عدد كبير مـــع التوقعـــات الإحـــصائية للفتـــرة المتبقية.
- أخذ العينات الجماعية على أساس منتظم لجمع بيانات تاريخية مفصلة.
- تحليل الخطأ بعد إنذار أو فصل مرحل بوقلز.

تفسير النتائج غير الطبيعية

النتائج غير طبيعية من المحتمل ان تحتاج إلى متابعة العمل في شـــكل أكثـــر تواترا لأخذ العينات ورصد أوثق. الظروف الداخلية التي تنـــتج غـــازات تـــشمل الإفراط في التسخين ، والقوس الكهربي التفريغ الجزئـــي Partial Discharges. حيث أن التفريغ أو القوس الكهربي يحدث مؤديا الى عيوب العـــزل ويجـــب أن يحدد مكانه بدقة ليصل إلى مرحلة متقدمة من التنمية .

معلومات أخرى متاحة من اخذ عينات الزيت

نتناول هنا معلومات وجيزة عن موضوع DGA. ومع ذلك، يتضمن زيت المحول قدرا كبيرا من المعلومات أكثر مما هو متوفر من فهم للغازات الذائبة فيه. العناصر الأخرى التي تحتاج إلى ان تؤخذ في الاعتبار وتشمل محتوى الرطوبة ، الحموضة ، قوة العزل ، وجود الفيوران Furans ... الخ .

الرطوبة

حياة أي محول تتوقف على ثلاثة معايير حاسمة ؛ درجة الحرارة ، والرطوبة والأوكسجين. ويتناول هذا البرنامج التعليمي الرطوبة. وتوجد بعض الآثار الضارة للأكسجين.

معظم محولات الطاقة يستخدم فيها الورق والزيت باعتباره الشكل الرئيسي للعزل وأثناء تصنيع تبذل الجهود صارمة لضمان أن كلاهما جافا ممكن عندما يترك محول جديد المصنع. عند دخول المحول في الخدمة يبدأ محتوى الرطوبة في الزيادة. الرطوبة المفرطة يمكن أن تعرض حياة أي محول للخطر. ومن المهم أن نفهم مصدر هذه رطوبة، وتأثير التدابير الوقائية التي يمكن اتخاذها.

Moisture

- ☐ Decreases dielectric
- ☐ Decreases IFT
- ☐ Degrades cellulose
- ☐ Failure risk
- ☐ Can be corrected

مصدر الرطوبة

عندما يدخل المحول في الخدمة فانه يتعرض للرطوبة من المصادر التالية :

- الخارجية -- من الغلاف الجوي
- الداخلية -- من المصنع
- الداخلية -- من ألياف ورق السيليلوز للتقادم

الرطوبة الخارجية مرارا وتكرارا تدخل إلى المحول الحر في التنفس كلما ارتفعت وانخفضت درجة الحرارة مع الحمل.

الرطوبة الداخلية تنتج بمجرد تقادم عزل السيليلوز . العملية التي يتم من خلالها يحدث ذلك معقدة للغاية ولكنه يمكن أن يكون تتلخص فيما يلي. ويتكون السيليلوز من سلاسل طويلة من الهيدروكربونات. وعندما كسر هذه السلاسل هي الكربون والهيدروجين تختلط مع اي أوكسجين موجود لتشكل أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون والماء. الغازات تذوب في الزيت. المياه لا تزال إلى حد كبير في الورق حيث أن وجودها يساهم في مزيد من التقادم كما هو حلقة مفرغة.

تأثير الرطوبة

الرطوبة يقلل من قوة عازل الورق و الزيت والذي بدوره يزيد من خطر العطل الكهربائي. كما أنه يقلل من القوة الميكانيكية للورق.

وحيث أن الزيت الساخن قادرة على توفير دعم أكثر للرطوبة من الزيت البارد، النسبة المئوية للتشبع تعتمد درجة الحرارة. إذا تم تبريد الزيت الساخن

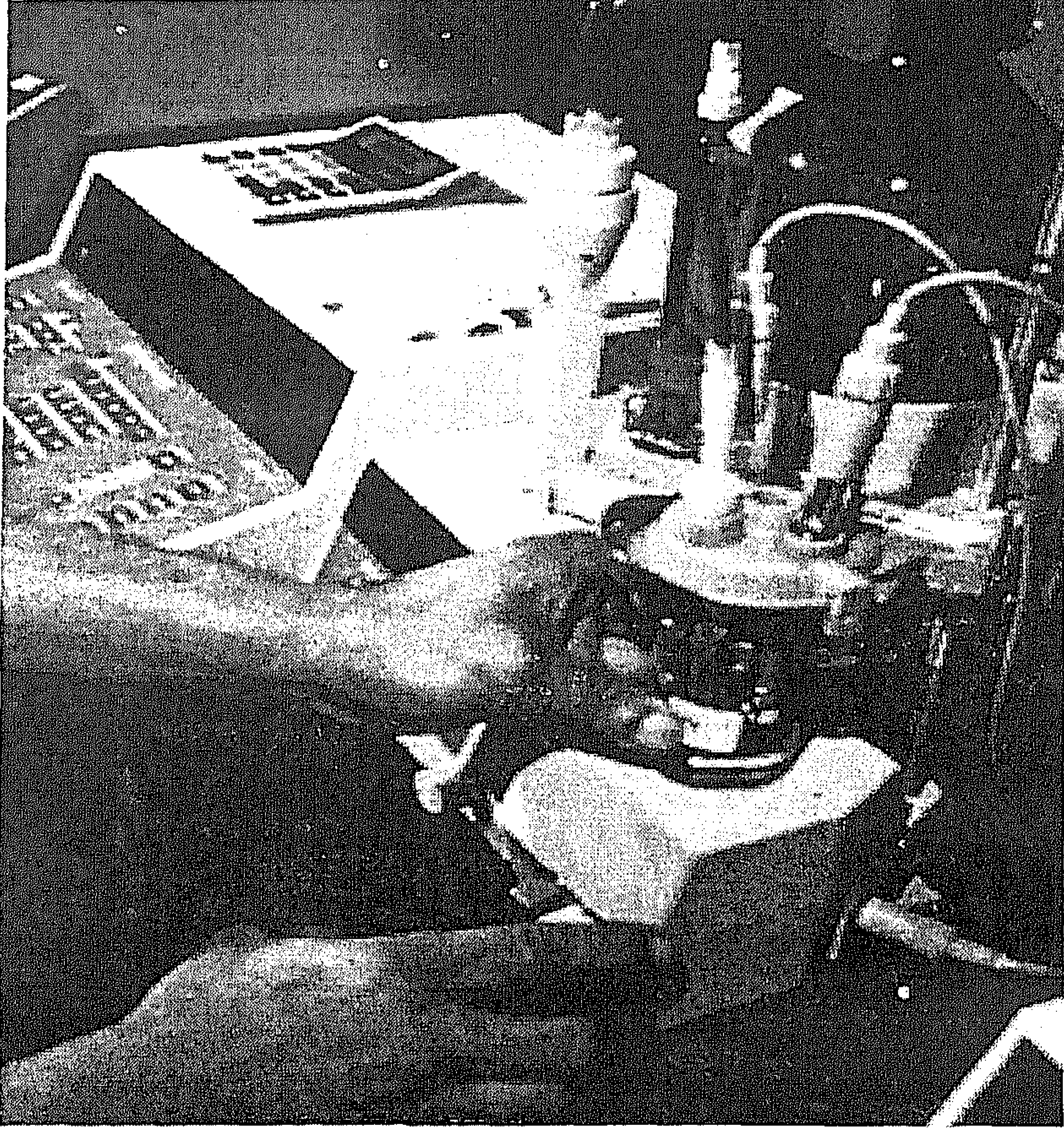
سوف يزيد التشبع النسبي وقد يشكل مستحلب من الماء والزيت. ويمكن أيـــضا أن ينتج المياه مما سيكون له اثر خطير على قوة عازل ويمكن أن يؤدي إلى تـــشكيل الصدأ حيـــث يجمـــع ، عـــادة فـــي أســـفل التنكـــات الرئيـــسية والمـــستودعات conservators.

وعلاوة على ذلك ، عندما يصبح الورق الرطب حار جدا ، علـــى ســـبيل المثال خلال فترة زيادة التحميل المفرط ، فان إمكانية تكوين الفقاعة تنشأ. وعندما يحدث هذا فان الرطوبة في الورق تغلي لتكون بخار الماء فتسبب خطـــر التفريـــغ الجزئي والانهيار الكهربائي.

ديناميكية الرطوبة

الرطوبة في المحول ديناميكية جدا ، تنتقل مع الحرارة بين الورق و الزيـــت. حتى الآن ، اكبر كمية يمكن احتوائها في الورق والذي يعمل مثل الإسفنج. نـــسبة الماء في الورق إلى الزيت حوالي 1000 : 1 (تنخفض إلى 500 : 1 إذا كان الزيت قديم). عندما ترتفع درجة الحرارة ، تتحرك الرطوبة بـــسرعة نـــسبيا مـــن الورق إلى الزيت. عندما تنخفض درجة الحرارة تتحرك الرطوبة مرة أخرى الـــى الورق ، ولكن بوتيرة أبطأ.

بعد فترة طويلة من درجة حرارة ثابتة، المياه فـــي الـــورق والزيـــت تبلـــغ التوازن. وعند هذه النقطة عن طريق قياس محتوى الرطوبة من الزيت، فانه مـــن الممكن تقدير كمية المياه في الورق من جداول البحث الموحـــدة. فـــي المحـــول الكبير فإننا نتحدث عن طن من الورق، وآلاف اللترات من الزيت ومئات اللتـــرات من الماء.



إدارة الأصول

التعامل مع مشكلة الرطوبة في المحول هو جزء هام جدا من إدارة فعالة للأصول. فعلى سبيل المثال : دائما سجل درجة الحرارة عند اخذ عينة من الزيت لتحليل الرطوبة.

لا تغير الزيت أبدا لأنها رطبة. الزيت الجديد سوف يتحلل بسرعة كبيرة إلى نفس الحالة القديمة كالتي تركت الرطوبة عليها الورق لإعادة إرساء حالة من التوازن. النظر فيما يلي :

(أ) بعناية اخذ العينات وإجراء الاختبارات للزيت.

(ب) استعمال أجهزة الاستشعار الرطوبة على شبكة الانترنت On-line.

(ج)صياغة وتطبيق وصيانة تنفس السليكا جيل.

(د) أنظمة للرصد ومراقبة الحالة باستمرار On-line

(ه) الأجهزة المستخدمة لإزالة الرطوبة باستمرار من الجو في المستودع

(و) أنظمة إزالة الرطوبة والمتصلة بنظم الزيت.

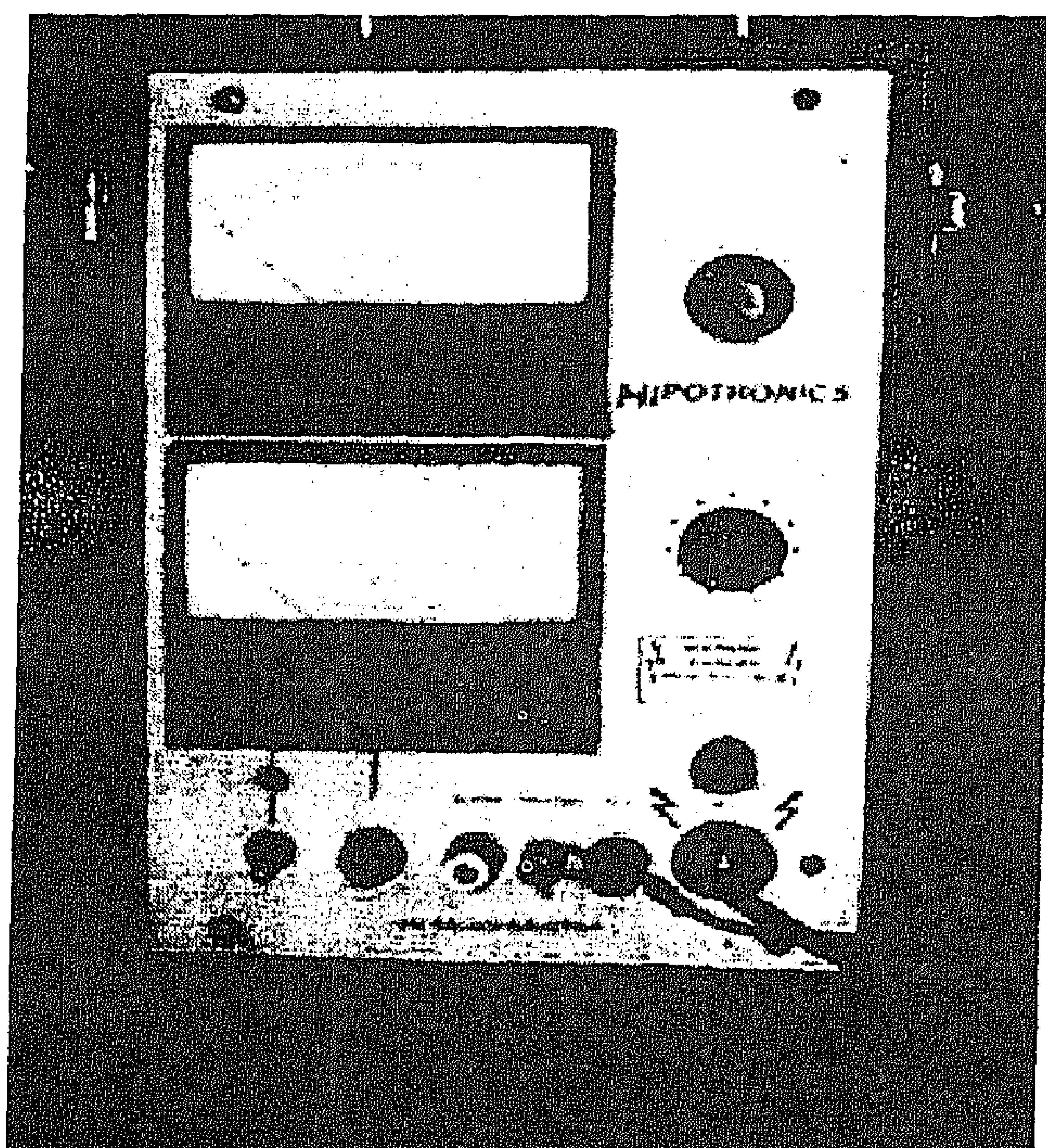
(ز) أخصائي في مجال خدمات التجفيف باستخدام الحرارة وفراغ.

اختبار محولات القدرة

قياس مقاومة العزل الكهربي لملفات المحولات بواسطة ميجر 2500 فولت .

حساب معامل الامتصاص (Absorption Factor) R60/R15 .

يجب أن لا تقل عن 1.3

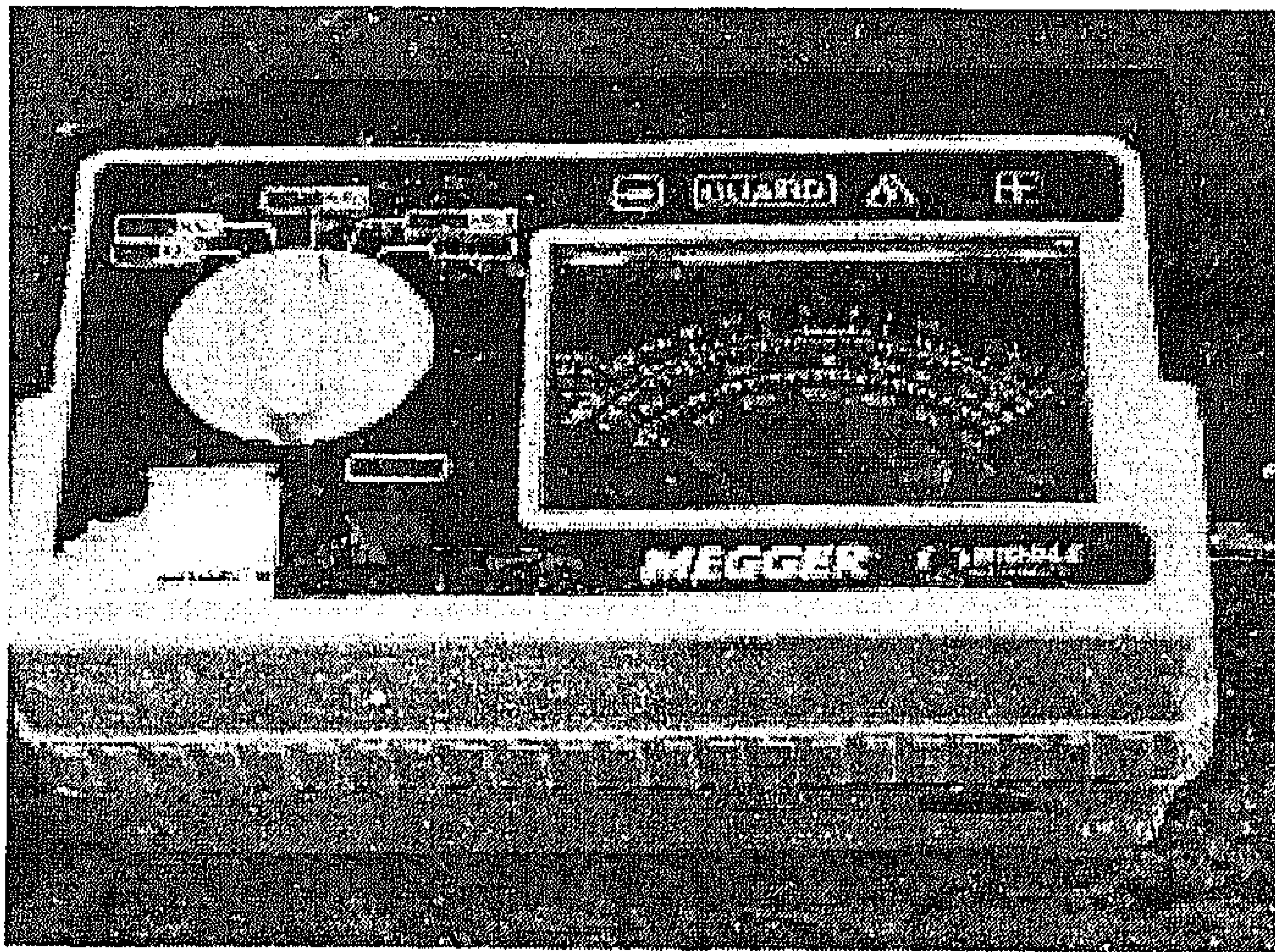


R60 هى مقاومة العرل الكهربي بعد (60) ثانية من وضع الجهد على الملفات

R15 هى مقاومة العزل الكهربي بعد 15 ثانية من وضع الجهد على الملفات .

يجب ألا تقل قيمة R60 عن 1000 ميجا أوم - وان لا تقل عن 85% من القيمة المقاسه عند وضع المحول في التشغيل وعن 70 % من القيمة الموصفة في شهادة اختبار المصنع ويجب أن تتم القياسات عند نفس درجة الحرارة التي تمت عندها القياسات في المصنع أو استعمال المعامل (K2)

Temp. difference (T2-T1) C°	5	10	15	20	25	30
K2	1,23	1,50	1,84	2,25	2,75	3,4



قياس ظل زاوية الفقد (Tan Delta) .

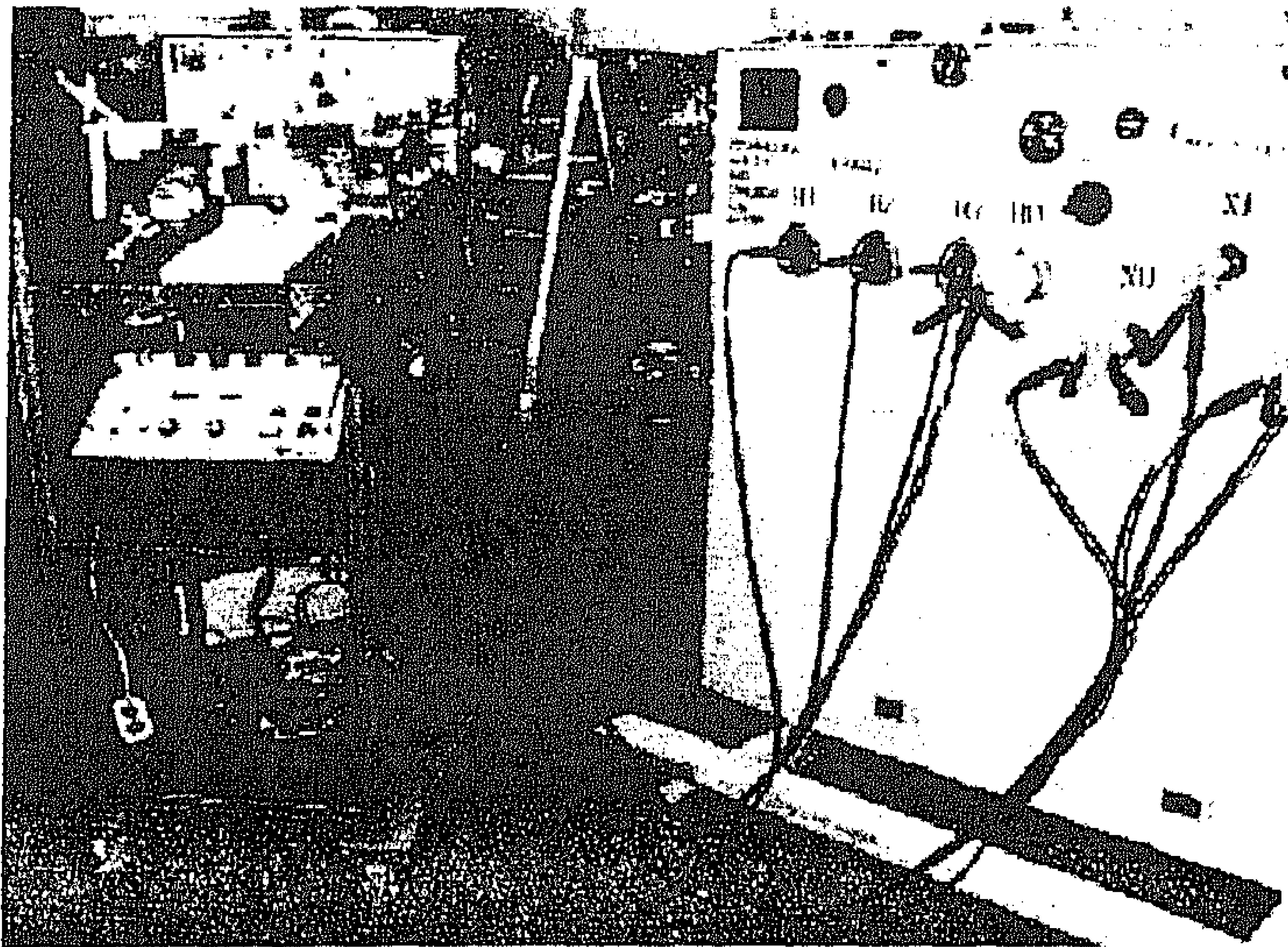
باستخدام قنطرة A.C ومثال للجهاز المستخدم و يجب ألا تزيد نسبة Tan Delta عن 0.5 %

- يتم قياس مقاومة الملفات D.C resistance للثلاثة أوجه للمحول عند جميع نقط مغير الجهد (صعودا وهبوطاً) ومقارنة النتائج في الحالتين .

ومقارنة النتائج بالقيم المقاسة في شهادة اختبار المصنع عند نفس درجة الحرارة وكذلك مقارنة القيم المقاسة للثلاثة أوجه ويجب أن لا تزيد القيمة المقاسة عن (+2%) من القيم المقاسة بشهادة المصنع .

قياس نسبة التحويل للملفات Transformation Ratio

ومثال للجهاز المستخدم TTR test - Transformer Turns Ratio test



مجموعة قياس نسبة التحويل ثلاثية الأوجه

يتم القياس لنسبة التحويل للملفات على جميع نقط مغير الجهد للمحولات التــي لها (OLTC) مغير جهد على حمل) وعلى المحولات اكبر مــن (630 KVA) بدون مغير جهد على حمل – ومحولات المساعدات الخاصة بالمحطة لأي قيمــة (KVA)

ويجب أن لا تختلف القيمة المقاسة عن (+2%) عن القيمـــة المقاســـة فــي المصنع وعن الأوجه الأخرى لنفس (نقطة مغير الجهد).

الاختبار بالأشعة تحت الحمراء Infrared test

وهذا الاختبار يفحص الأجيزة للتأكد من وجود توصيلات ساخنة من عدمه ، وبقع ساخنة hot connections and hot spots . و يمكن أن يُستعمل لتدقيق كَمية التَبريد الذي يَعْملُ على المحولاتِ transformer cooling .

تحليل مشاكل المحولات

1- مشاكل ارتفاع درجة حرارة المحول . مشاكل زيت المحول .- المشاكل الكهربية والميكانيكية للمحول .

المشكلة	السبب	الحل
درجة الحرارة مرتفعه داخل المحول (الزيت والملفات)	(1) الهواء المدفوع غير كافي	يجب التأكد من ان سريان الزيت طبيعي وكذلك الهواء
	(2) المبردات ليست نظيفة (بها شوائب)	يجب تنظيف المبردات من الداخل من أى شوائب وذلك باستخدام الهواء المضغوط .
	(3) زيادة التيار	تقليل الحمل إن أمكن يمكن تقليل درجة الحرارة بتحسين معامل القدرة للأحمال مراجعه الدوائر الموصلة بالتوازي واختبار نسب التحويل للمحولات وZ
	(4) ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط .	يتم علاج هذا بالتهوية الجيدة لغرفة المحولات
	(5) التبريد الغير كافي	لو ان تبريد المحول عن طريق استخدام وحدات تبريد (مراوح) يجب مراجعه وحساب كفاءه الوحدات المركبة (عددها).
	(6) انخفاض مستوى الزيت في المحول .	• يجب تزويد المحول بالزيت الى المنسوب الصحيح .
	(7) زيت ملوث بالألياف Sludged Oil	• فى هذه الحالة يستخدم مرشح ذو قوة ضغط
	(8) قصر في القلب الحديدي	إجراء اختبار تيار الإثارة Exciting Currentوكذلك معاوقة المحول بدون حمل

المشاكل الكهربية Electrical Troubles

المشكلة	السبب	الحل
1- انهيار في الملفات	(1) صواعق (2) قصر (3) حمل زائد (4) تدهور قوة العزل الكهربي للزيت أو وجود مواد غريبة بالزيت .	• سبق مناقشة الحلول لهذه المواضيع .
2- انهيار في القلب الحديدي	انهيار عزل القلب الحديدي	• اختبار عزل القلب الحدبدي
3- ارتفاع تيار الإثارة	قصر القلب الحديدي	• اختبار مفاقيد القلب الحديدي Core Losses وإذا كانت مرتفعة يجب مراجعة تربيطات الكلامبات واربطه القلب الحديدي بوصلاتها .
4- قيمة جهد غير صحيحة	نسبة التحويل غير مضبوطة	• إما تغيير لوحه الأطراف Terminal board وضبط النسبة أو تغيير توصيله المحول .
	جهد المنبع غير مضبوط (فوق العادي)	• يجب تغيير مغير الجهد لضبط الجهد السليم للمحول
5- صوت مسموع للأقواس الكهربية الصغيرة ولذلك بسبب التفرغ الجزئي للزيت	أجزاء معدنية داخل المحول غير مأرضة	• يجب التاكد في الحال من أن كل الأجزاء المعدنية داخل المحول مأرضه مثل القلب الحديدي والكلامبات الخاصة به .
	ترحيل في تربيط الوصلات والمسامير والصواميل	• إعادة الوضع الطبيعي بإعادة ربطها جيدا
6- الوميض المرتفع على عوازل الاجتياز (Flash Over)	صواعق تلوث عوازل الاجتياز	مراجعة والتأكد من الوقايات ضد الصواعق كافية بورسيلين عوازل الاجتياز على فترات زمنية تعتمد على تلوث المنطقة .

مشاكل زيت المحول Oil Troubles

المشكلة	السبب	الحل
1-انخفاض قيمة العزل الكهربي للزيت	(1) تكثيف الجو المحيط بالمحول ببخار الماء بسبب التهوية غير الجيدة	التاكد من أن فتحات التهوية لغرف المحولات غير مسدودة أو معوقة التهوية
	(2) تحطم رق المحول Broken relief diaphragm	بجب تركيب واحد أخر جدبد
	(3) تسريب الفلانشات والوصلات الموجودة بتنك المحول	مراجعة هذه الأشياء
2- تغير لون الزيت بصورة سيئة	(1) تلوث الزيت بالألياف	ترشيح +واختبار قوة العزل الكهربي
	(2) كربنة الزيت نتيجة الأقواس الكهربية	القيام باختبار قوة عزل الزيت الكهربية على الفور والتأكد من أن قيمته سليمة
3- أكسدة الزيت (الحموضة)	(1) ارتفاع درجة حرارة المحول	تقليل الحمل إن أمكن تحسين التبريد واختبار عملية تتابع مجموعات التبريد في العمل .
4- تسريب في فلانشات الطلمبات		مراجعتها وعلاجها

صيانة وفحص المحولات الكهربية

من دراسة طرق وبرامج الصيانة الخاصة بالمحولات وجد انه لابد من عمل الفحوصات والاختبارات المختلفة بالدقة المطلوبة وعند تجميع المحول وقبل تشغيله يجب ملاحظة الأمور الآتية:

1. صوت المحول
2. مستوى الزيت ولونه وخلوة من الشوائب
3. -سلامة العوازل الخارجية والتأكد من استمرارية الأرضي
4. التأكد من ربط المصهرات وصحة وجودة عمل أجهزة الوقاية

5. صحة ربط مخارج الملفات وتوزيعها السليم على الأوجه الثلاثـــة وعمـــل مفتاح تحويل الضغط للرفع أو الخفض.
6. تسجيل درجة الحرارة المحول عند التشغيل وكذا بعد مرور 10 دقائق من التشغيل للتأكد من صحة عمله.
7. فحص الزيت للتأكد من قوة عزله كهربيا ومكوناته الكيماويـــة وملاحظـــة مستوى الزيت ولونه .

أولا: الصيانة الدورية للمحولات

هناك نوعان من الصيانة الدورية للمحولات ، الأول لا يحتاج إلـــى إخـــراج المحول من خزانه الرئيسي وفترة الصيانة مرة واحدة في السنة تقريبا . والنـــوع الثاني الذي تتطلب الصيانة فيه الى إخراج المحول من الخزان ويتم ذلـــك مـــرة واحدة كل 10 سنوات على وجه التقريب .

وتتلخص أعمال الصيانة التي تجرى مرة واحدة في السنة على تنظيف وملاحظة الأجزاء الخارجية التالية للمحول وهي :

1- خلو عوازل مخارج التيار من أضرار الكسر أو التشقق أو التصدع وإزالة الأتربة والأوساخ المتراكمة واستبدال غير الصالح منها .
2- تنظيف وضبط ملامسات مصهرات الضغط العالي واستبدال المعطوب منها .
3- انعدام رشح الزيت من مناطق اللحام والتأكد من الإحكام الجيد لها.
4- ملاحظة عدم ارتفاع درجة حرارة الزيت عن المعدلات المسموح بها .
5- التأكد من سلامة عمل مراوح التهوية ونظافة أنابيب التبريد والمشعاع (الريدياتير).
6- يجب أن تكون التهوية جيدة في المحولات العاملة داخل غرف مسقوفة .
7- يجب تسجيل الحمل بواسطة أجهزة القياس التابعة للمحول .

8- التأكد من سلامة عمل أجهزة الحماية وإشارات التحذير وكذا الإنارة الخارجية .

9- يجب التأكد من مطابقة مكونات المحول وأداءه للمواصفات والخصائص المذكورة في كتيب الشركة المصنعة .

ثانيا: الصيانة التي تجرى مرة واحدة كل 10 سنوات فتشمل الأعمال التالية :

1- إخراج جسم المحول (القلب الحديدي) من خزانه الرئيسي وإجراء الفحوصات الكهربية علي ملفات المحول للتأكد من مقدار المقاومة وقوة العزل وعدم تواجد حالات قطع كاملة أو ناقصة .

2- عند إخراج الملفات مت القلب الحديدي يتطلب فك الصفائح الحديدية السليكونية وتنظيفها والتأكد من سلامة عزلها ومن ثم تجميعها وربطها بإحكام .

3- إعادة ربط التأريض بإحكام والتأكد استمرارية وتنظيف الدعامة الأمامية للمحول وربطها بإحكام .

4- تجفيف الملفات وتستبدل عوازلها التالفة وتنظف من رواسب الزيت ويعاد تركيبها .

5- فك مفتاح تحويل الضغط وتنظيف ملامساته .

6- تنظيف نهايات الملفات واستبدال عوازلها التالفة والتأكد من متانة لحاماتها.

7- تنظيف الخزان الرئيسي من رواسب الزيت وإعادة صب جدرانه الخارجية والداخلية بورق التنظيف الخاص والتأكد من عدم تواجد لحامات رديئة والتأكد من عمل عجلات الخزان واستبدال العزل المطاطي على حافة فوهته العلوية .

8- تنظيف الغطاء العلوي والخزان المساعد من الزيت والشوائب والتأكد من سلامة مبين درجة الحرارة ومستوى الزيت .

9- فحص أجهزة الوقاية وملاحظة مدى انتظام عملها واستبدال الأجزاء التالفة منها .

ثالثا الفحص الخارجي للمحولات

وفيه يتم الفحص على الأجزاء الظاهرية للمحول وفق نظام معـين وبعنايـة ودقة عالية وتشمل فحص الأجزاء الآتية:

1- الخزان الرئيسي : يقوم الفاحص بملاحظة وتسجيل حالة أداة الـربط مـن الصواميل وسلامة سطح الخزان من الانبعاج تحت تأثير قـوى خارجيـة وكذا سطح وأنابيب الإشعاع . أما إذا كان الخزان قد جري استبداله تحـت ظروف معينة في هذه الحالة يجب التأكد من القياسات والأبعاد من ارتفاع وعرض وسمك الخزان وكذا عدد مواسير التبريد من أعـدادها وترتيبهـا وأقطارها ، تعطى أهمية متزايدة للتأكد من عدم تواجد شـقوق أو ثقـوب حتى وان كانت ضئيلة وبسيطة يحتمل رشح الزيت منها إلى جانب طـلاء الخزان وتناسقه كوحدة كاملة.

2- المشعاع : عند استبدال التالف منها بآخر جديد يجب أن يركـز الإهتمـام بعرفة عدد الأنابيب وقطرها والمسافة بين بعضها البعض ، خلو الرشـح من مواضع الربط وكذا مواضع اللحام وسلامة عمل الصنابير .

3- الخزان المساعد : يقوم الفاحص بملاحظة موقع الخزان المساعد والمسافة بينه وبين الأجزاء الحاملة للتيار ، خلو الخزان من الـضرر الميكـانيكي الخارجي ، عدم رشح الزيت في مواضع الربط واللحام وكـذا ملاحظـة سلامة مبين الزيت والصنابير والشكل العام للخزان

4- ماسورة الحماية الغازية: ملاحظـة أبعادهـا وزاويـة ميلهـا وغطائهـا الزجاجي وكذا عدم رشح الزيت مـن مواضـع الـربط عنـد قاعـدتها، وملاحظة جودة أدوات الربط.

5- غطاء المحول: ويشمل على ملاحظة الغطاء نفسه والتأكد من خلوه من الانبعاج أو أي ضرر ميكانيكي آخر وكذلك مناطق اللحام واحتمالات رشح الربط الى جانب فحص أجزاء المحول الأخرى القائمة على غطاء المحول مثل مخارج التيار للضغطين الابتدائي والثانوي خاصة سلامة العزل من التشقق أو الخدش أو التصدع وربطه وإحكامه .

6- ربط أطراف المخارج:التأكد من نوعية العزل المستخدم للضغط الإبتدائي وكذا للضغط الثانوي وعددها وخلو الأطراف من آثار الانصهار (القوس الكهربي) أو القطع أو الحرارة العالية غير العادية وكذا وضع اللحام ونظافة العزل.

7- مفتاح التحويل للضغط : تفحص ميكانيكية عمل المفتاح وسهولة تمييز أوضاعة الثلاثة .

8- نظام التبريد : إذا كان نظام التبريد يعتمد على الهواء المضغوط فتفحص محركات المراوح ويتم التأكد من سلامة عملها في ظروف الأحمال .

9- أجهزة الحماية ومعداتها : ونعنى بالمتمم الغازي (بوقلز) والمصهرات والمنبه الصوتي(الإنذار) الحراري ، فيجري التأكد من سلامتها وصحة عملها في الظروف المطلوبة حيث يتم فحص كل جهاز أو معدة على حدة وكذا التأكد من سلامة عمله.

10- مفاتيح التشغيل : هل تشغل يدويا أو بواسطة محركات كهربية ، فعندما تفحص جيدا ويتأكد من سلامة عملها بحرية تامة وخلوها من الأضرار الميكانيكية الخارجية، تدون هذه الملاحظات في سجل الفحص الخارجي الدوري للمحول ويسجل تاريخ إجراء تلك الفحوصات وتاريخ ابتداء الفحص القادم مسبقا.

رابعا: خصائص الزيت الجيد للمحولات

تتوقف جودة زيت المحولات على الأمور الآتية:

1) جهد انهيار العزل للزيت: يحدد هذا الجهد الخواص الكهربية للزيت كمادة عازلة ،إذ أن هذا الضغط الى حدود معينة يدل على ارتفاع نسبة الرطوبة والأحماض بالزيت فالضغط يجب ألا يقل عن 35 ك .فولت للزيت الجديد الذي لم يستعمل بعد للمحولات ذات الجهـــد مـــن 10 الـــى 35 ك.ف ، ويجب ألا يقل عن 40 ك.ف للمحـــولات جهـــد 220 ك.ف ، و50 ك.ف للمحولات جهد 500 ك.ف .

2) درجة حرارة اشتعال الأبخرة والغازات : درجات حرارة اشتعال الأبخرة والغازات الناتجة من الزيت حيث أن انخفاض هذه الدرجات يـــشير الـــى تحلل الزيت واحتمال اشتعاله، لذا يجب أن لا تقل حرارة اشتعال الأبخـــرة عن 135 درجة مئوية.

3) لزوجة الزيت : إن زيادة هذه اللزوجة تعوق دورة التبريـــد وتحـــد مـــن سرعته، لذا يجب ألا تتعدى درجة اللزوجة 4.2 وذلك عنـــد 20 درجـــة مئوية ، ولا تتعدى درجة اللزوجة 1.8 وذلك عند 50 درجة مئوية.

4) حمضية الزيت : ينتج عن هذه الأحماض تلف العوازل للملفات ، وأكسدة وتآكل القضبان والصفائح الحديدية . ويجب ألا يتعدى الـــرقم الحمـــضي للزيت عن 0.05 ملليجرام [مقدار المليجرام من ايدروكـــسيد البوتاســـيوم التي تعادل حمضية واحد كيلوجرام من الزيت].

5) الشوائب الميكانيكية المختلفة :الشوائب الميكانيكية كثيرة ومختلفة ، الناتجة عن اتساخ الملفات ، ومجاري الزيت من جسيمات الكربـــون والـــشوائب الأخرى.

خامسا : مواعيد فحص الزيت ومواصفاته

تختلف مواعيد فحص الزيت من فترة لأخرى تبعا لاختلاف جهد المحولات بالطرق التالية :

1- يجرى فحص الزيت مرة واحدة كل ثلاث سنوات للمحولات والمعدات ذات الجهد 11 ك.ف .

2- بالنسبة للمحولات التي جهدها 35 ك.ف تختبر قوة العزل مرة واحدة في السنة ، ويجرى التحليل الكامل مرة كل ثلاث سنوات .

3- يجرى تحليل الزيت للمعدات مرة كل سنة لجهد اكبر من 35 ك.ف .

4- يجرى تحليل الزيت مرة كل سنة بالنسبة لمخارج حاملة التيار المملوءة بالزيت .

5- يجرى تحليل الزيت عقب كل عمرة للمحولات والمعدات الأخرى.

أما الحدود التالية للجهد الكهربي الذي يجب أن يتحمله الزيت قبل انهياره فتعتبر حدود صغرى يجب المحافظة عليها،بحيث بدونها يعتبر الزيت غير صالح للاستخدام :

1- يجب ألا يقل جهد الانهيار عن 20 ك.ف للمحولات ذات الجهد حتى 11 ك.ف .

2- يجب ألا يقل جهد الانهيار عن 25 ك.ف للمحولات ذات الجهد حتى 35 ك.ف .

3- يجب ألا يقل جهد الانهيار عن 35 ك.ف للمحولات ذات الجهد حتى 220 ك.ف .

4- يجب ألا يقل جهد الانهيار عن 45 ك.ف للمحولات ذات الجهد حتى 500 ك.ف .

سادسا : طريقة إجراء الفحص الكهربي للزيت

اختبار عزل الزيت يتم وفق الخطوات التالية :

1- الفحص يجرى بين كرتين ذات قطب مختلف على كل كرة قطر الكرة المعدنية 25 مم والمسافة بين الكرتين 2.5 مم .

2- قنينة الزيت تمزج جيداً بطريقة الرج دون توليد فقاعات هوائية .

3- وعاء الفحص ينظف بزيت المحولات مرتين أو ثلاث مرات .

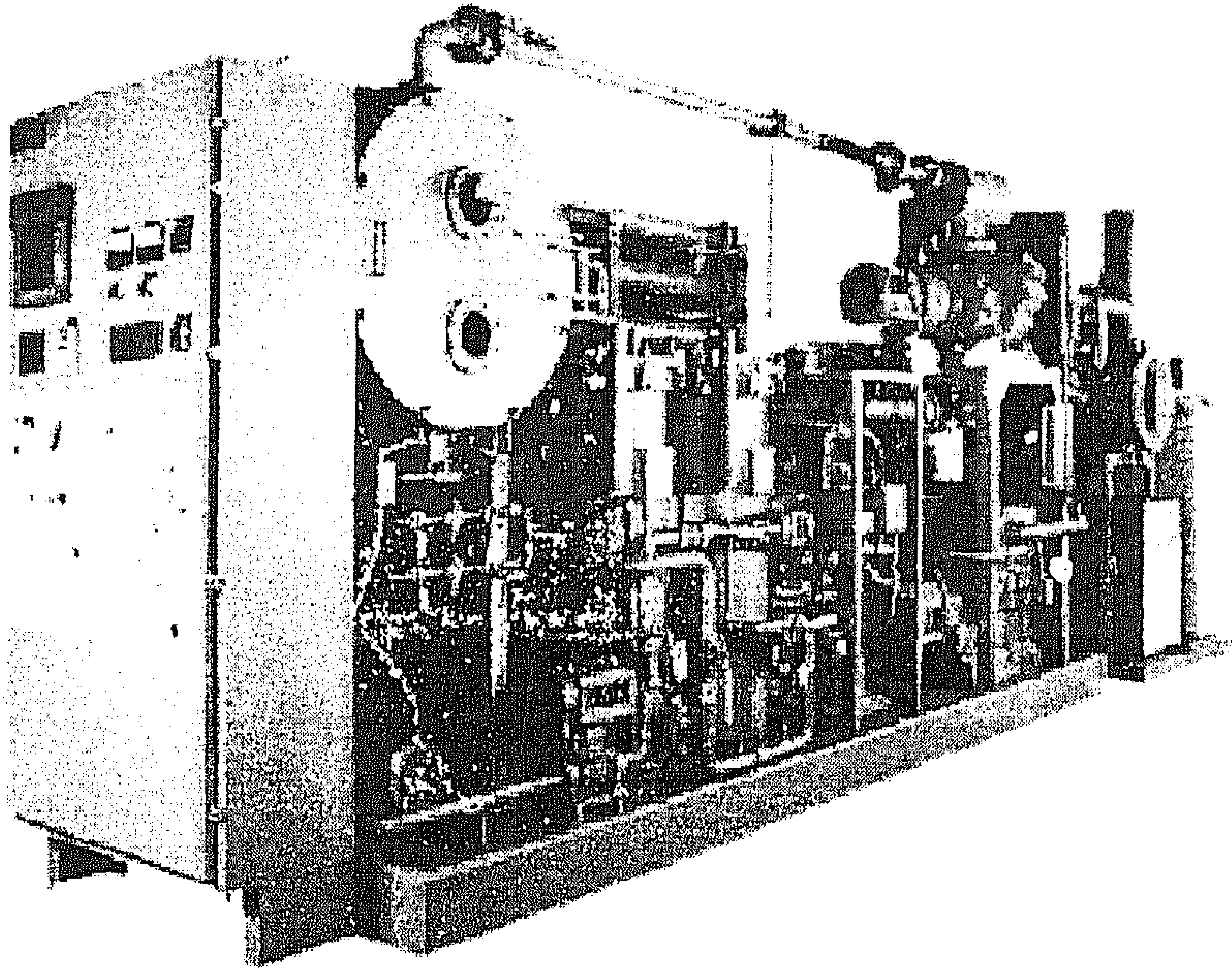
4- يسكب الزيت في وعاء الفحص حتى يصل الى مستوى 20 مم من فوهتـــه العليا ، ويجب أن يجري السكب بالشكل الذي يمنع تكون فقاعات هوائية . ثم يترك الوعاء على جهاز الفحص لمدة 10-15 دقيقة كـــي تتلاشـــى احتمالات وجود فقاعات هوائية .

5- بعد سكون حركة الزيت في الوعاء الفاحص ، يفتح على الكرتين الجهـــد الكهربي تدريجيا بمعدل 2-5 ك.ف/ثانية ، مع ملاحظة جهاز الفـــولتميتر ويستمر الرفع حتى انهيار عزل الزيت، وعندها تفصل الـــدائرة الكهربيـــة تلقائياً ، ويسجل جهد انهيار العزل ، تعاد عملية الفحص من 2- 5 مرات بين فترات زمنية ما بين 5 الى 10 دقائق بين فحـــص وآخـــر والـــضغط المتوسط هو الذي يعمل به .

6- لتأكيد أهمية الفحص يمنع منعا باتا لمس الزيت قبـــل الفحـــص أو لمـــس الكرتين بالأصابع ، ويمنع تنظيف وعاء الفحـــص بقطعـــة قمـــاش لمنـــع احتمالات سقوط شعيرات القماش وتلاصقها بجدران الوعاء .

What can we do about it?

- ☐ Keep the Transformer Healthy!
- ☐ Do not overheat
- ☐ Keep moisture and oxygen out
- ☐ If the Transformer is Sick, Get Help!
- ☐ Investigate abnormal DGA results
- ☐ Process or replace the oil
- ☐ De-hydrate
- ☐ Hot oil flush

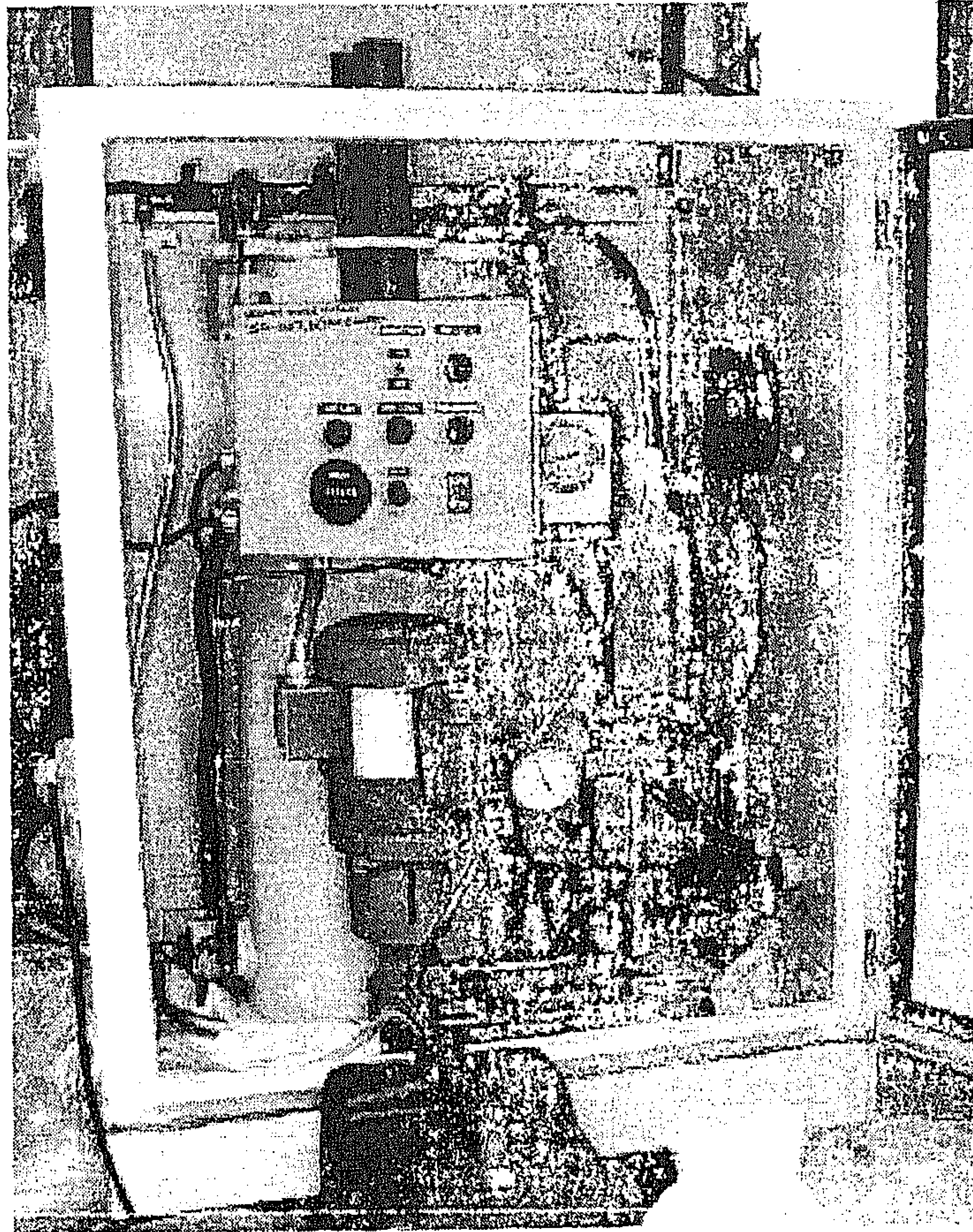


ماكينة تكرير الزيت

Transformer oil processing

What processes?

- De-gas
- Dehydrate
- Hot oil flush
- Reclaim oil



Other maintenance options

- Upgrades to oil preservation system
- Bladders
- De-hydrating breathers
- N2 blanket
- On-line monitoring systems
- Gas and moisture
- Bushing monitors

الفصـــل الرابع

وقاية المحـولات

الفصل الرابع
وقاية المحولات
Protection of Transformers

يمكن تقسيم أجهزة الوقاية الخاصة بالمحولات إلى نوعين هما :-

أ- الوقاية المركبة على جسم المحول .

ب- الوقاية المركبة على دائرة المحول التي تتعامل مع مشاكل المحول مع الشبكة الكهربية وهى أجهزة الوقاية المستقلة والمركبة في غرفه خاصة بها (غالباً غرفة المراقبة) .

أ- الوقايات المركبة على جسم المحول الأجزاء الآتية :-

1- جهاز الوقاية الغازية Gas Relay

2- فتحة الانفجار Pressure Relief (Explosion Vent)

3- مبينات درجة الحرارة Temperature Indicators

4- مبينات مستوى الزيت Oil Level Gauges

5- مانعة الصواعق Lightning Arrestors

6- وقاية مغير الجهد Protective Relay

ب- الوقايات التي تتعامل مع مشاكل المحول مع الشبكة الكهربية .

1- جهاز الوقاية التفاضلية Differential Protection

2- جهاز الوقاية ضد تسرب الأرضي المحدد Restricted Earth Fault Protection

3- جهاز الوقاية ضد زيادة التيار Over Current Protection

الغرض من المتابع الغازى كجهاز يستخدم لوقاية المحول :

- المتابع الغازي عبارة عن جهاز وقائي يستخدم ليعطى بياناً بالعطـــل فـــي المراحل الأولي أو لاتخاذ الخطوة الأولي في الفصل الفوري للمحول عند حدوث عطل كبير .

النسبة المئوية للمعاوقة الكهربائية

المعاوقة الكهربائية للمحول تكتب علي معظم لوحات بيانات المحول .

تعريف

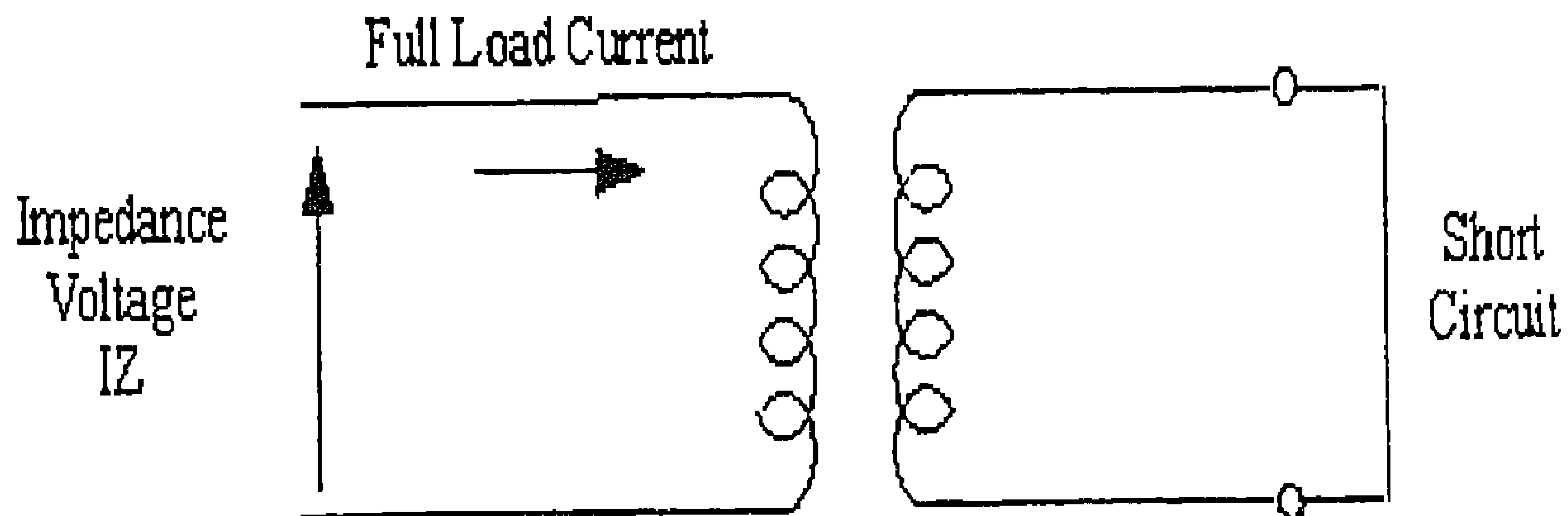
النسبة المئوية من المعاوقة الكهربائية لمحول هو انخفــاض الجهــد علـــى تحميل كامل نظرا لمقاومة الملفات ومعاوقة التسرب كنسبة مئويـــة مـــن الجهـــد المقنن. وهي أيضا نسبة مئوية من جهد الأطراف اللازم لتمرير تيار الحمل الكامل في إطار ظروف القصر.

قياس المعاوقة الكهربائية

المعاوقة الكهربائية تقاس عن طريق اختبار دائرة القصر.يتم عمل قصر علي احد الملفات shorted ، يسلط الجهد بالتردد المقنن على الملف الأخر ويكون الجهد كافيا لتمرير تيار كامل التحميل --- انظر أدناه

النسبة المئوية المعاوقة الكهربائية يمكن أن تحسب على النحو التالي :

ع ٪ = المعاوقة الكهربائية الجهد × 100 / الجهد المقنن



شكل (4-1) اختبار دائرة القصر

تغيير قيمة المعاوقة الكهربائية

الترتيب الأكثر اقتصادا للملفات والقلب الحديدي يؤدي إلـى قيمـة طبيعيـة للمعاوقة الكهربائية التي تحددها الفيض المتسرب. تسرب الفيض هـو دالـة فـي أمبير لفات والمساحة ، وطول طريق تسرب الفيض. ويمكن تغييرها في مرحلـة التصميم عن طريق تغيير الجهد لكل لفة والعلاقة الهندسية للملفات.

اثر ارتفاع وانخفاض المعاوقات الكهربائية

المعاوقة الكهربائية لمحول له تأثير كبير على مستويات الخطأ للنظـام. أنهـا تحدد الحد الأقصى لقيمة التيار الـذي سـوف يتـدفق تحـت ظـروف الخطـأ. ومن السهل لحساب الحد الأقصى للتيار المار في المحول في ظل ظروف الخطـأ المتماثل. على سبيل المثال ، نعتبر محول سعته 2 ميجا فولت أمبير وله معاوقة كهربائية 5 ٪. الحد الأقصى لمستوى الخطأ المتاحة على الجانب الثانوي :

2 MVA x 100/5 = 40 MVA

ومن هذه المعادلة يمكن حساب تيارات الخطأ المكافئة فـي الجانـب الابتـدائي والثانوي.

فالمحول الذي له معاوقة كهربائية اقل سيؤدي إلـى ارتفـاع مـستوى الخطـأ (والعكس بالعكس) .

يحسب الرقم أعلاه الحد الأقصى. وفي الممارسة العمليـة ، مـستوى خطـا الفعلي سوف ينخفض بواسطة المعاوقة الكهربائية للمصدر ، المعاوقة الكهربائيـة للكابلات والخطوط الهوائية بين المحول وموقع الخطـأ ، و معاوقـة الكهربائيـة الخطأ في حد ذاته.

فضلا عن اعتبارات مستوى الخطأ ، فان قيمة المعاوقة الكهربائية أيضا :

- تحدد انخفاض الجهد أثناء التحميل -- المعروفة باسم 'تنظيم' .
- يؤثر على تقاسم التحميل عندما يكون محولان أو أكثر يعملان بالتوازي

تسلسل المعاوقة الكهربائية (Z_1, Z_2, Z_0)

الحسابات أعلاه تتناول الخطأ المتوازن علي الثلاثة أوجه. الأخطـــاء غيـــر متماثلة (من الأرض إلى الوجه ، وجه إلى وجه- الخ) تؤدي إلـــى مزيـــد مـــن الحسابات المعقدة التي تتطلب تطبيق نظرية العناصر المتماثلـــة. وهـــذا بـــدوره ينطوي على استخدام تسلسل المعاوقات الكهربائية: الايجابي ، والسلبي والصفري (Z_1, Z_2, Z_0على التوالي).

كما هو الحال مع جميع المحطات السلبية ، تسلسل المعاوقـــات الكهربائيـــة الايجابية والسلبية (Z1 وZ2) من محول تكون متطابقة.

ومع ذلك ، فان التسلسل الصفري للمعاوقة الكهربائية يتوقف علي الطريـــق المتاح لتدفق تسلسل الصفري للتيار وتحقيق التوازن بين أمبير لفة المتاح داخـــل المحول. عموما ، تسلسل التيار الصفري يتطلب ملفات موصلة دلتا ، أو توصيلة نجمة مؤرضة عند نقطة التعادل. أي معاوقة كهربائية في الوصـــلة بـــين نقطـــة النجمة (التعادل) وجهه الأرض تزيد من تسلسل الـــصفر للمعاوقـــة الكهربائيـــة الشاملة. واثر ذلك هو الحد من تسلسل الصفري للتيار وهي سمة في كثيـــر مـــن الأحيان إلى توضع في الظروف العملية في شبكة التوزيع للسيطرة علـــى حجـــم التيار التي سوف يتدفق تحت ظروف الخطأ الأرضي.

1- أعطال المحولات

يمكن تحديد معظم ظروف الأعطال التى تحدث لمحولات القوي كالتالي :

أ) الأعطال الأرضية :

حدوث عطل في ملف المحول يؤدي إلى وجود تيارات تعتمد على المصدر والممانعة المتصلة بين نقطة التعادل بين المحول والأرض والمفاعلة التسريبية leakage impedance للمحول ومكان العطل في الملفات بالإضافة إلى تأثير توصيلات الملفات على قيمة تيار العطل. ففي حالة كون الملفات متصلة بالشكل

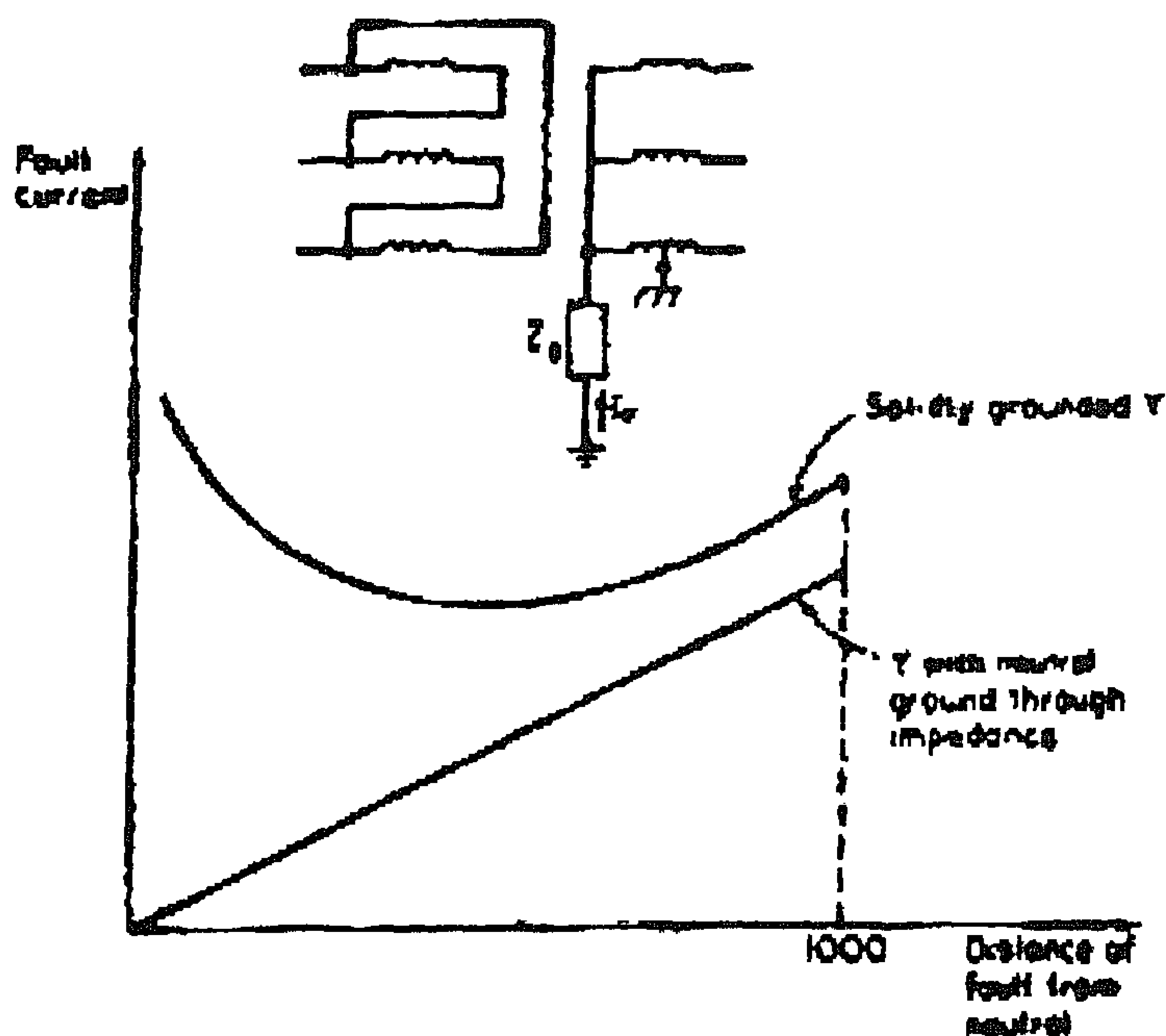
النجمي Y وتتصل نقطة التعادل بالأرض خلال ممانعة Z_g سيعتمد تيار العطل على قيمة Z_g ويتناسب مع المسافة بين نقطة العطل ونقطة التعادل. و إذا كانت (Z_g=o) وهذا يعني أن نقطة التعادل مؤرضة تأريضا مباشرا فسوف تتأثر قيمة تيار العطل بالمفاعلة التسريبية .

ومن الواضح أن قيمة المفاعلة التسريبية تعتمد على مكان العطل نفسه أي أن المفاعلة التسريبية تقل كلما كان العطل قريبًا من نقطة التعادل . كنتيجة لذلك يزداد تيار العطل كلما كان العطل قريبًا من نقطة التعادل. و الشكل (4-2) يعرض مقارنة بين التغيرات العامة في تيار العطل مع مكان العطل في حالة توصيل الملفات بالشكل النجمي Y . وفى حالة توصيل الملفات بشكل دلتا سيكون مستوي تيار العطل اقل من تيار العطل في حالة التوصيل النجمي مع تأثر القيمة الفعلية للتيار بطريقة الـتأريض المستخدمة في نظام القوي .

أما تيارات أعطال الطور فغالبًا تكون أقل في حالة توصيل الملفات بالشكل المثلثي نتيجة المعاوقة العالية للعطل ويتم أخذ هذا العامل في الاعتبار عند تصميم نظام الحماية لهذا الملف .

ب) أعطال قلب المحول

هذا النوع من الأعطال يكون نتيجة إنهيار العزل و يؤدي إلى سريان تيار دوامي مسببًا ارتفاع في درجة الحرارة والذي يمكن أن يصل لقيمة تكفي لتدمير الملف.



شكل (4-2) : التغير في تيار العطل الأرضي مع مكان العطل

ج) أعطال داخل اللفات

هذا النوع يحدث نتيجة شرارة عرضية في الملفات والتى تحدث بسبب التغيرات الفجائية لجهد الخط وحدوث عطل تماس في عدد قليل من لفات الملف سينتج تيارات عالية في الحلقاتِ التى حدث لها عطل التماس ولكن تيارات الأطراف ستكون صغيرة .

د) أعطال وجه - إلى - وجه

هذا النوع نادر الحدوث ولكنها تؤدي إلى حدوث تيارات عالية القيمة تتشابه مع الأعطال الأرضية .

هـ) أعطال الخزان

يؤدي هذا العطل إلى فقد في الزيت مما يقلل من العزل ويؤدي أيضا إلى ارتفاع غير طبيعي في درجة الحرارة .

و بالإضافة إلى ظروف الأعطال التى تحدث داخل المحول نفسه توجد بعض العوامل الخارجية والتى تحدث ظروف طبيعية تؤدي إلى إجهادات على المحول وهذه الظروف تشمل :

1- زيادة الحمل : والذي يؤدي إلى زيادة الفقد في المقاومة $I^2 R$ وما يرتبط معه من زيادة درجات الحرارة .
2- أعطال النظام : وتحدث آثار مشابه ولكن أحيانًا تكون أخطر بكثير من تلك الناتجة عن زيادة الحمل .
3- ارتفاع الجهد : غالبا ما تكون نتيجة التغيرات الفجائية العابرة أو زيادة الجهد محدثًا إجهادات في العزل وزيادة في الفيض .
4- تشغيل النظام عند تردد أقل : يؤدي إلى زيادة الفيض مسببًا حدوث فقد في القلب مرتبطًا بزيادة في درجة الحرارة .

2- ظواهر مغناطيسية و حرارية

عندما يتم تشغيل المحول عند أي نقطة من نقاط موجة جهد المصدر ستعتمد القيم القصوي للفيض في القلب على الفيض المتبقي residual magnetism وأيضًا على لحظة التشغيل وتكون القيمة العظمي للفيض أعلي من قيمته في حالة الاستقرار وتكون مقيدة بتشبع القلب ويكون تيار المغنطة اللازم لإنتاج فيض القلب من 8 إلى 10 مرات من القيمة العظمي لتيار الحمل الكامل وليس له مكافئ في الملف الثانوي وهذه الظاهرة تسمي تيار المغنطة المتدفق magnetizing inrush current وتظهر على أنها عطل داخلي. وأعلي تدفق للتيار يحدث إذا تم توصيل المحول في الشبكة عندما يكون جهد المصدر يساوي صفر . وبإدراك ذلك يكون من الحتمية عند تصميم المرحلات التفاضلية أنها لا تعمل في حالة تيار المغنطة المتدفق وتستخدم عدد من الطرق والتى تعتمد أساسًا على خواص توافقيات التيار المتدفق لمنع عمل المرحل خلال تيارات التدفق العالية .

و بوضع وحدة حساسة للحرارة داخل خزان المحول تكون قادرة على حماية المحول من زيادة الحرارة نتيجة التسخين. وتستخدم مرحلات زيادة التيار كحماية إضافية مع تأخر في الزمن أعلى من المضبوط عليه مرحل الحماية الرئيسي. و يتم استخدام الحماية المحدودة للأعطال الأرضية في حالة توصيل الملفات بالطريقة النجمية Y وهذه الطريقة تظهر في شكل (4-3) . حيث يتساوي مجموع تيارات الأطوار مع تيار نقطة التعادل ومن ثم لا يستجيب المرحل للأعطال الموجودة داخل الملفات .

3- الوقاية التفاضلية

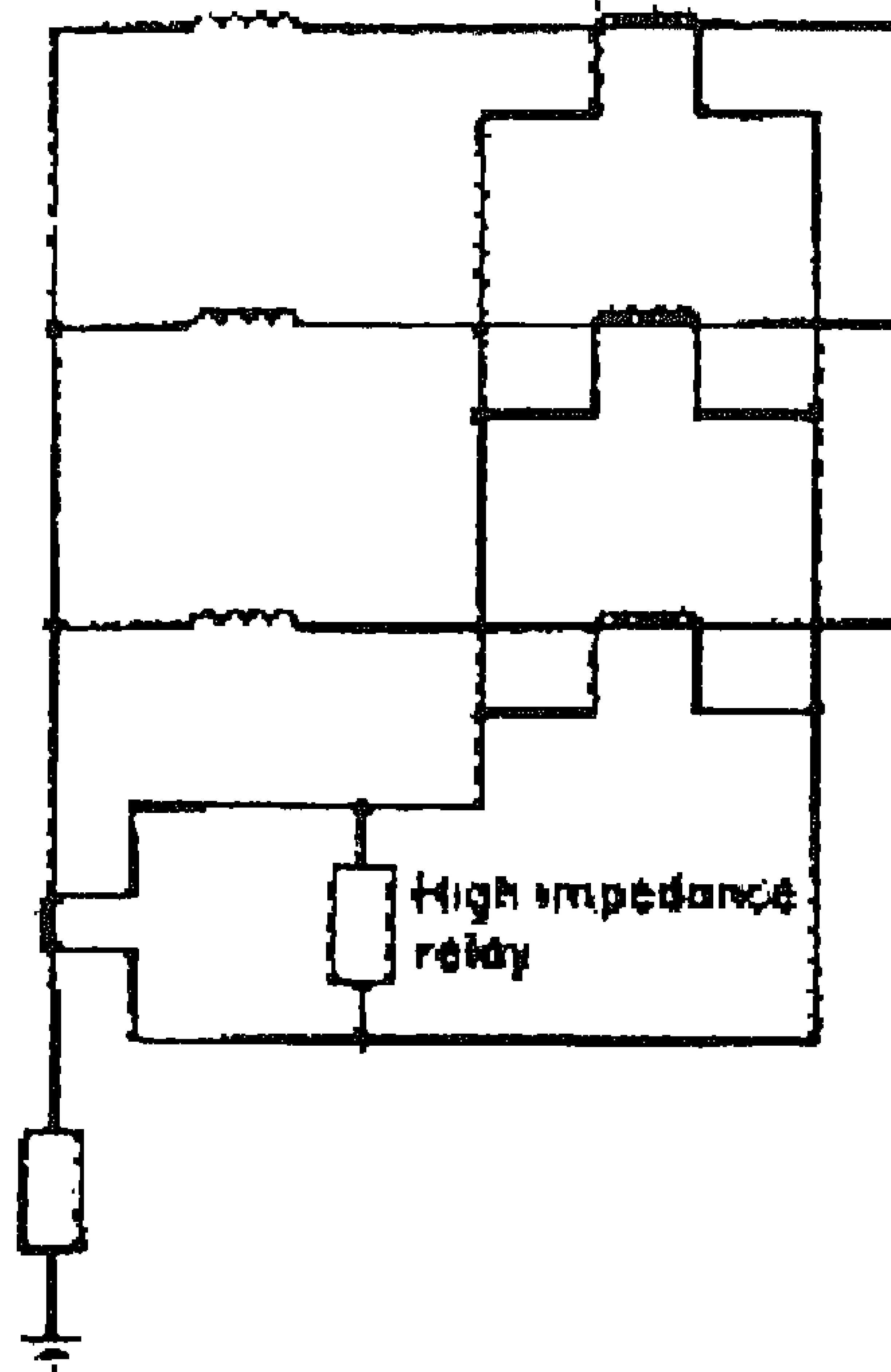
هي الطريقة الأساسية لحماية المحولات مع الأخذ في الاعتبار بعــض النقــاط وهي :

1- نسبة التحويل : يجب أن تتوافق القيم المقننة لمحول التيار مع التيــارات المقننة لملفات المحول الذي يتم توصيله به

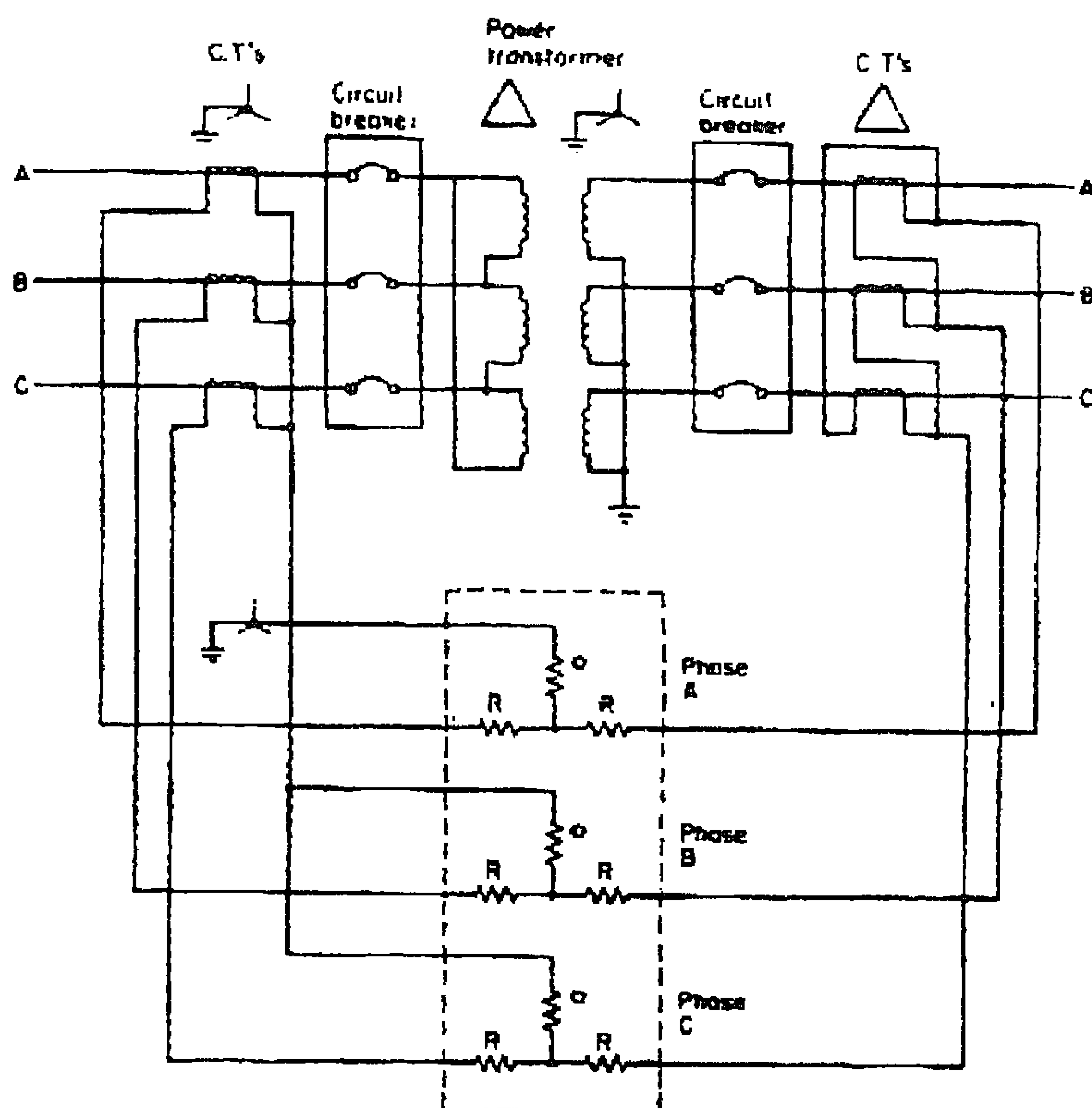
2- ونتيجة وجود فرق في الطور الزاوي بمقدار 30^o بين الملفات المتصلة من الناحية النجمية Y والناحية المثلثية وحقيقــة أن مكونــات التتــابع الصفرية في الناحية النجمية Y لا تظهر على أطراف الناحية المثلثيــة يتم توصيل محولات التيار بالشكل النجمي Y للملف المتصل على شكل المثلثي وتوصل بالشكل المثلثي للملف المتصل على الشكل النجمي Y.

ويوضح شكل (4-4) نظام الوقاية التفاضلية الذي يطبق على محول من النوع دلتا /Y . ويوضح شكل (4-5) تفاصيل نظام الوقاية التفاضــلية لمحول ثلاثي الملفاتY /دلتا/Y وعندما يتم توصيل محــولات التيــار بالشكل دلتا يجب أن تقل القيم المقننة الثانوية بمقدار: $1/\sqrt{3}$مــرة مــن القيم المقننة الثانوية للمحولات المتصلة بالشكل النجمي Y .

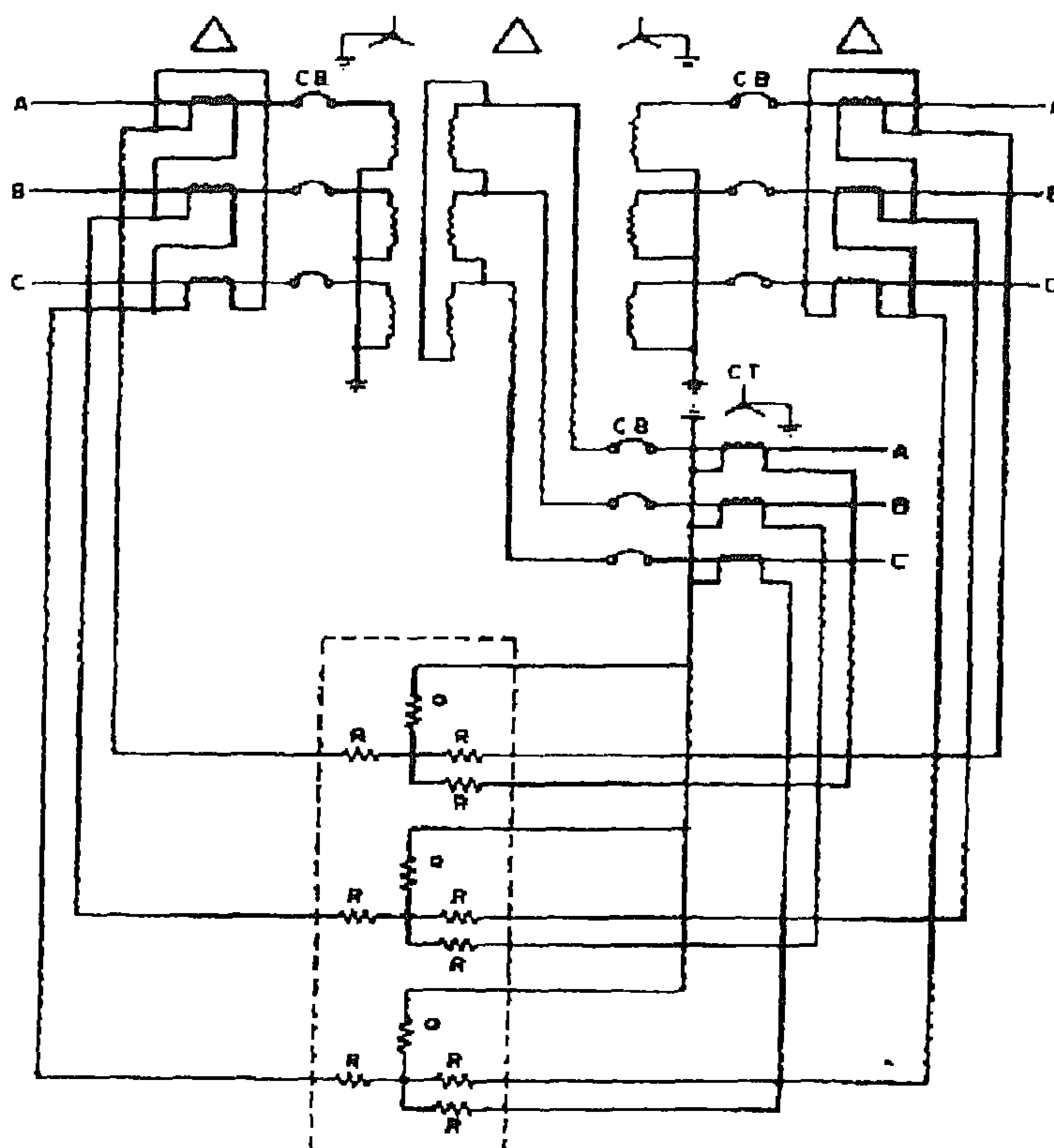
3- وجود بعض السماحية عند تغيير نقطة التفرع tap changing باستخدام ملفات تقييد الحركة والتي تحدث انحياز (Bias) ويجب أن يتم اختيار ملف الانحياز بحيث يتعدى تأثيره أعلى انحراف نسبي .



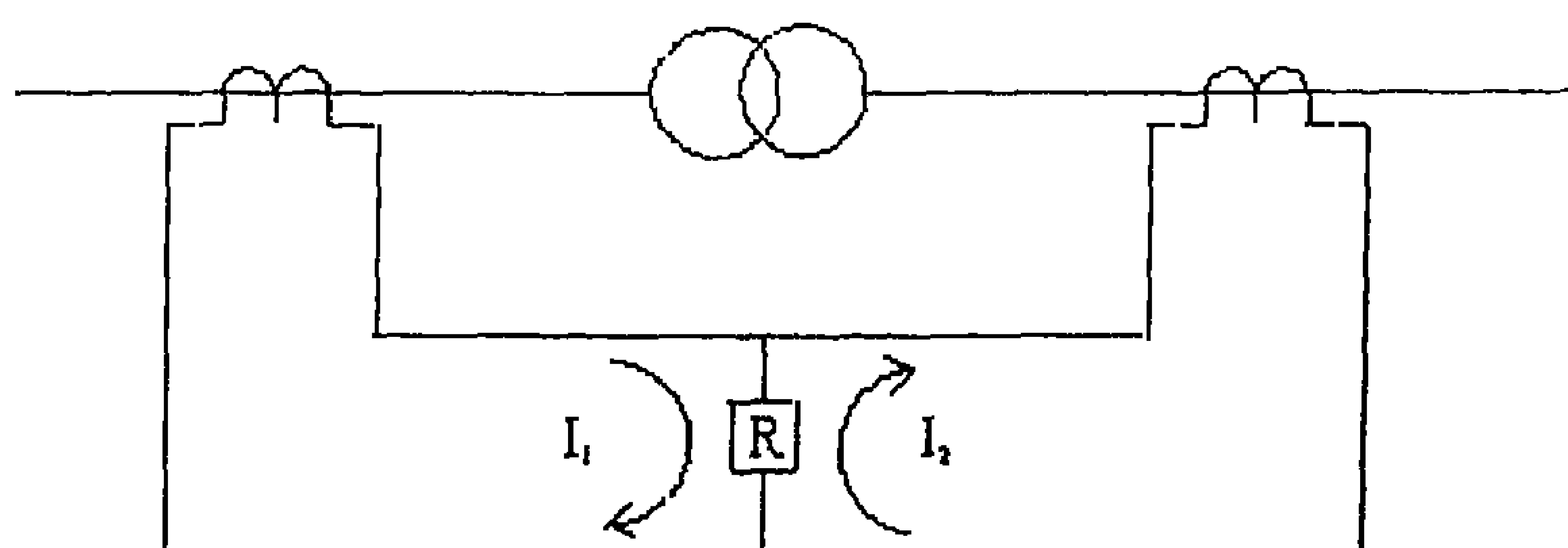
شكل (4-3) : نظام الوقاية الأرضية المحدد (المقيد) لملف نجمي Y



شكل (4-4) : نظام الوقاية التفاضلية لمحول Y/Δ



شكل (4-5) : نظام الوقاية التفاضلية لمحول ثلاثي الملفات



شكل (4-6) الحماية التفاضلية

الحماية التفاضلية

الحماية التفاضلية هي وحدة المخطط والذي يقارن التيار على الجانب الرئيسي من المحول مع نظيره على الجانب الثانوي. وحيثما يوجد فرق(غير الفرق نظرا لنسبة تحويل الجهد) فمن المفترض أن المحول قد تعرض لخطا أو عطل وتفصل قواطع الدوائر الكهربائية آليا . نظرية العمل ممكنة بفضل حقيقة ان المحولات الكبيرة على درجة عالية من الكفاءة ، وبالتالي في إطار التشغيل العادي ، القدرة الداخلة تساوي القدرة الخارجة. الحماية التفاضلية تكشف عن الأعطال على جميع المنشآت والمعدات داخل المنطقة المحمية ، بما فيها القصر علي اللفات.

نظرية العمل

المبدأ الأساسي في تشغيل الحماية تفاضلية للمحول هو نظام التيار الدوار كما هو مبين أدناه. في ظل ظروف طبيعية i1 ،i2 متساويين ومتعاكسين في الاتجاه وبالجمع يكون المحصلة صفرا وهو التيار المار في المرحل. أي خطــأ داخلــي يؤدي إلى الإخلال بتوازن التيار المار في المرحل ، مما أدى إلى تشغيل المرحل.

المخطط المثالي يشترط أن يكون :

- في إطار مستقر للغاية تحت ظروف الخطأ .
- سريع جدا في العمل لخطأ داخلي .

اعتبارات التصميم

هناك عدد من العوامل التي ينبغي مراعاتها في تــصميم مخطــط لتحقيــق هــذه الأهداف. وهي تشمل ما يلي :

- المطابقة لنسب محول التيار
- اختلال توازن التيار نظرا لتغيير نسبة التحويل
- التعامل مع التيارات في الاتجاه الصفري Zero sequence current
- زاوية حيد الطور خلال المحول
- تيار المغنطة العابر Magnetising inrush

كل من هذه الاعتبارات تؤخذ بمزيد من التفصيل أدناه.

مطابقة نسب محولات التيار

محولات التيار التي تستخدم لمخطط الحماية جرت العادة أن يكون اختيارهم من مجموعة من المحولات التيار ذات النسب القياسية مثل 1600 / 1 ، 1000 / 5 ، 200 / 1 وما يمكن أن يعني هذا أن تغذي التيارات للمرحل من جانبي محول القدرة و قد لا تتوازن تماما. أي خلل يجب أن يتم تعويضه والأساليب المستخدمة تشمل تطبيق المرحلات المتحيزة (أنظر أدناه) و / أو استخدام من محولات التيار المتوسطة .

اختلال توازن التيار الناتج عن تغيير نسب التحويل

المحول مجهز بمغير خطوة أثناء التحميل (OLTC) بحكم تعريفها تغيير في نسبة الجهد وهي تتحرك على مدى الخطوات (النقاط). وهذا بدوره تغيرات نسبة التيار الابتدائي إلى الثانوي وتنتج اختلال التوازن (أو انسكاب) التيار في المرحل. كلما بعدت خطوات المحول من موقع الاتزان ، ولذلك يزداد الانسكاب في التيار. لجعل الوضع أسوأ من ذلك ، كما يزيد الحمل على المحول من حجم الانسكاب الزيادات التيار مرة أخرى. وأخيرا من خلال الأخطاء يمكن أن تؤدي إلى انتشار التيارات التي تتجاوز إعدادات المرحل. إلا أن أيا من هذه الشروط 'في منطقة' وبالتالي الوقاية يجب أن تبقى مستقرة. ويجب ألا تعمل. المرحلات المتحيزة توفر الحل لهذه المشكلة

إلتعامل مع تيارات التسلسل الصفري

الأخطاء إلى الأرض التي تحدث للشبكة الموصلة بعد المحول قد تؤدي إلى زيادة تيار التسلسل الصفري ، وهذا يتوقف على توصيلات اللفات و ترتيبات التأريض. وحيث التيار صفر التسلسل لا يمر من خلال المحول ، سوف يري من جانب واحد فقط مؤديا إلى انسكاب التيار وإمكان التشغيل الخطأ المرحل خارج نطاق المنطقة التي يعمل بها. لمنع وقوع مثل هذا الحدث ، يجب القضاء علي

التيار الصفر تسلسل من المخطط التفاضلي. ويتحقق ذلك عن طريق استخدام وصلات دلتا على الجانب الثانوي من أي محول تيار مرتبط مع لفات المحول الرئيسي المتصلة نجمة.

حيث أن الدوائر الثانوية لمحولات التيار ترتبط في نجمة على جانب واحد من المحول الرئيسي ودلتا من ناحية أخرى ، يجب أن يكون بدل اعتماد لحقيقة أن التيارات الثانوية خارج توصيلات دلتا سوف يكون فقط 1 / 3 √ ما يعادلها للنجمة.

حيد الطور خلال المحول

بعد التخلص من مشكلة تيارات التسلسل الصفري ما زالت تنتج الأعطال تيارات الايجابية والسلبية التسلسل التي تظهر من خلال محولات التيار المستخدمة في الوقاية. هذه التيارات قد تمر بمرحلة حيد الطور لأنها تمر عبر المحول تبعا لمجموعة التوصيل للمحول. توصيلات الجانب الثانوي لمحولات التيار يجب أن تعوض لتفادي الخلل وإمكانية التشغيل الخاطئ.

تيار المغنطة العابر Magnetizing inrush

عند بدء تشغيل المحول أول مرة inrush magnetizing المغنطة لها تأثير زيادة مقدار التيار لفترة قصيرة من الزمن. وهذا سوف يتضح في محولات التيار ناحية المصدر فقط ويمكن أن تفسر على أنها خطأ داخلي. ولذلك يجب أخذ الاحتياطات لمنع عمل أجهزة الوقاية. الحلول تتضمن بناء ميزة تأخير الوقت في المرحل واستخدام ضبط النغمة التوافقية، عادة، من جراء ارتفاع مستوى التوافقية الثانية المرتبطة بتيار المغنطة الزائد.

المرحلات المنحازة Biased Relays

استخدام ميزة وجود تحيز في إطار المرحل التفاضلي يسمح بإعدادات منخفضة وسرعة أوقات التشغيل حتى في حالة وجود مغير خطوة للمحول – (انظر أعلاه). اثر التحيز هو الزيادة التدريجية لكمية انسكاب التيار اللازمة للتشغيل كلما زاد مقدار التيار: المرحلات المنحازة لها سمات محددة وفقا لتعليمات المصنع.

محولات التيار المتوسطة Interposed CTs

تتمثل المهمة الرئيسية للمحولات التيار المتوسطة في تحقيق التوازن بين التيارات التي يزود بها المرحل وإلا سوف يكون اختلال نتيجة نسب محولات التيار الرئيسية CTs. محولات التيار المتوسطة interposed CTS مجهزه بمجموعة واسعة من الخطوات التي يمكن أن يتم اختيارها من قبل المستخدم لتحقيق التوازن المطلوب.

وكما يوحي الاسم ، هو تركيب محولات التيار المتوسطة بين الملفات الثانوية من محول التيار الرئيسي والمرحل. و يمكن أن تستخدم على الجانب الابتدائي أو الثانوي لمحول القدرة المطلوب حمايته ، أو كليهما. محولات التيار المتوسطة أيضا توفر وسيلة مريحة لإنشاء توصيل دلتا من اجل القضاء على التيارات ذات التسلسل الصفري في الحالات التي يكون فيها ذلك ضروريا.

المرحلات الحديثة

تجدر الإشارة إلى أن بعض المرحلات الرقمية الحديثة تقضي على الحاجة إلى محولات التيار المتوسطة عن طريق تمكين الضروريات مثل حيد الطور ، نسب محولات التيار و إزالة تيار التسلسل الصفري ، على أن تكون مبرمجة مباشرة إلى المرحل.

مرحلات Buchholz

يوضح الشكل التالي المتابع بوخلز Bochholtz ، ويمكن ملاحظة أن له غرفه واحدة وعوامتين . ومن المعتاد ملء هذه الغرفة بالزيت .

ويجرى إدخال هذا المتابع في الخط الموصل بين المحول والخزان التعويضي.

وعند تكون الغاز في المحول ينجم عنة تراكمه في المتابع الغازي مما يسبب إزاحة للزيت .

وبالنسبة للأعطال الطفيفة ، يحدث إزاحة لكمية صغيرة من الزيت وتنخفض العوامة العليا . وينشط هذا الوضع للملامسات لتحدث صوت الإنذار .ويحدث هبوط بشكل كبير - في حالة الأعطال الداخلية الخطيرة - في مستوى الزيت بحيث يضطرب وضع العوامة السفلية وتقوم باعتاق مفتاح التحويل الزئبقي الذي يقوم بتشغيل وحدة وقائية تقوم هى الأخرى بفصل المحول .

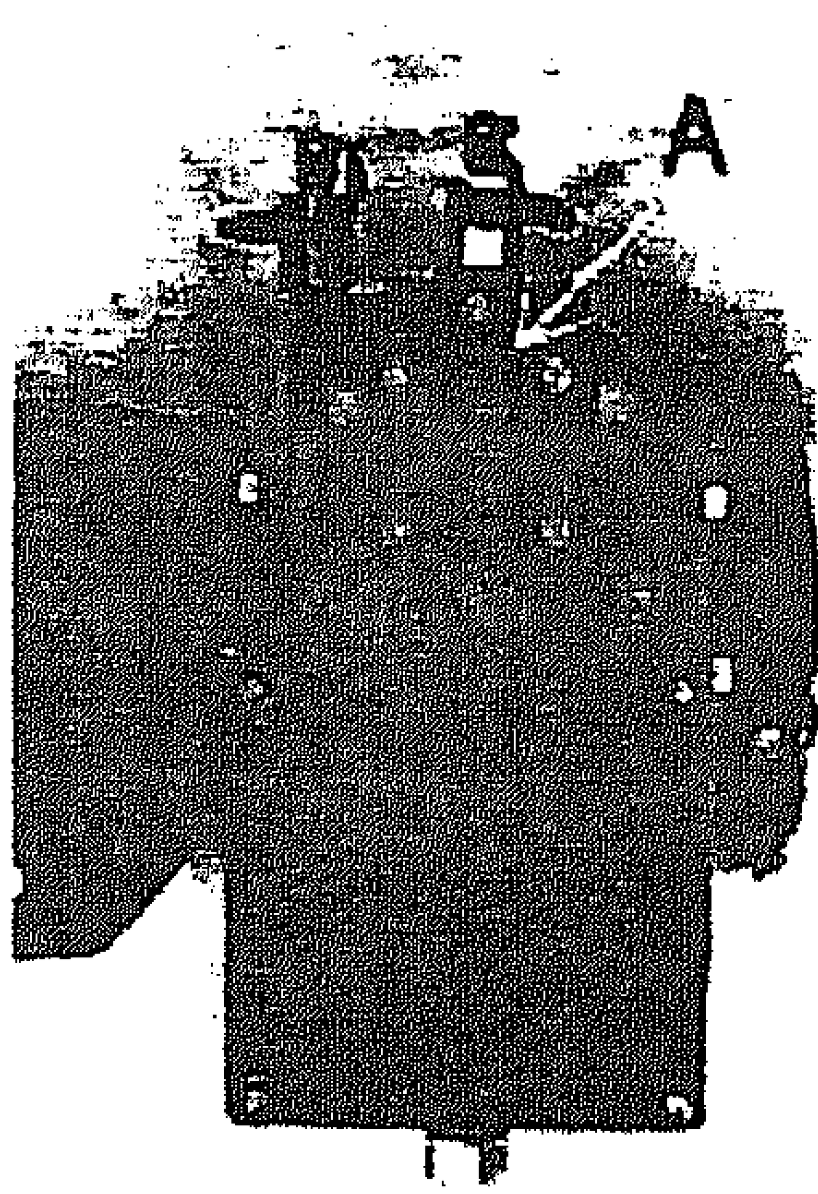
وإذا حدث فقد في زيت المحول - مما يتسبب عنه انخفاض مستوى زيت الوحدة ، فانه يحدث اضطراب في وضع العوامتين . ويعمل أولاً نظام الإنذار ومن بعده عناصر أحداث الدفعة المفاجئة لإغلاق دائرتيها المتواليتين .

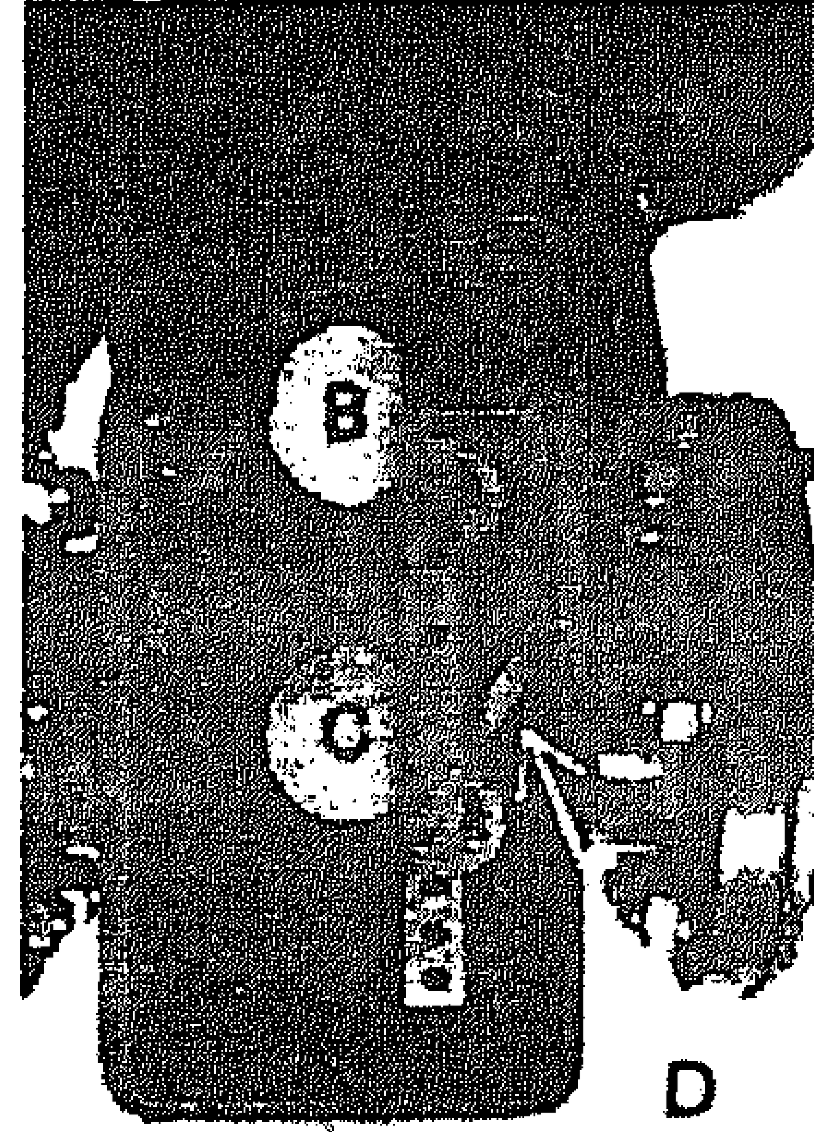
وعملية بدء عمل دائرة الاعتاق الذي يرجع إلى انخفاض مستوى الزيت وقف على هذا النوع من المتابعات .ويمكن مراجعة سلامة عمل المتابع باستخدام مضخة هواء . وعن طريق الضخ البطئ للهواء تعمل العوامة العليا على إصدار الإنذار . وعلية ضخ الهواء على نحو سريع باستخدام حركة ارتجاجية تشغل العوامة السفلي ونبيطة الإعتاق .

مرحل بوقلز هو جهاز يعمل في الغاز والزيت ويركب في المواسير بين أعلى للتنك الرئيسي المحول والمستودع. يتم استخدام مرحل آخر أحيانا لحجرة مغير الخطوة tapchanger. وظيفة المرحل هو الكشف عن الحالة الشاذة التي تحدث داخل التنك وإرسال إنذار أو إشارة فصل. في ظل ظروف طبيعية يكون المرحل مملوءا تماما بالزيت. يحدث التشغيل عندما يتم تعويم البالونات من جراء تراكم الغاز، أو تحرك عوامة من قبل القوس الكهربي في الزيت Surge of Oil. كل المحولات الكبيرة المملوءة بالزيت مجهزة بمرحل بوقلز Buchholz ، وقد تم اختراعه بواسطة ماكس بوقلز Max Buchholz في عام 1921.

Front View **Rear View (Cover Removed)**

الجهة الأمامية العمق (إزالة الغطاء)





A - Gas Collection Chamber

B - Upper Float
C - Lower Float
D - Oil Surge Detector

الشكل (4-7) المتابع بوخلز Bochholtz

الترتيب العام **Arrangement**

(أ) حجرة تجميع الغاز .

(ب) العوامة العلوية .

(ج) العوامة السفلية .

(د) كاشف القوس الكهربي في الزيت .

الشروط المكتشفة بواسطة مرحل بوقلز

مرحل بوقلز سوف يكتشف :

- الغازات المنتجة في المحول .
- القوس الكهربي في الزيت من التنك إلى الواقي .
- فقدان الزيت من المستودع (الزيت على مستوى منخفض جدا) .

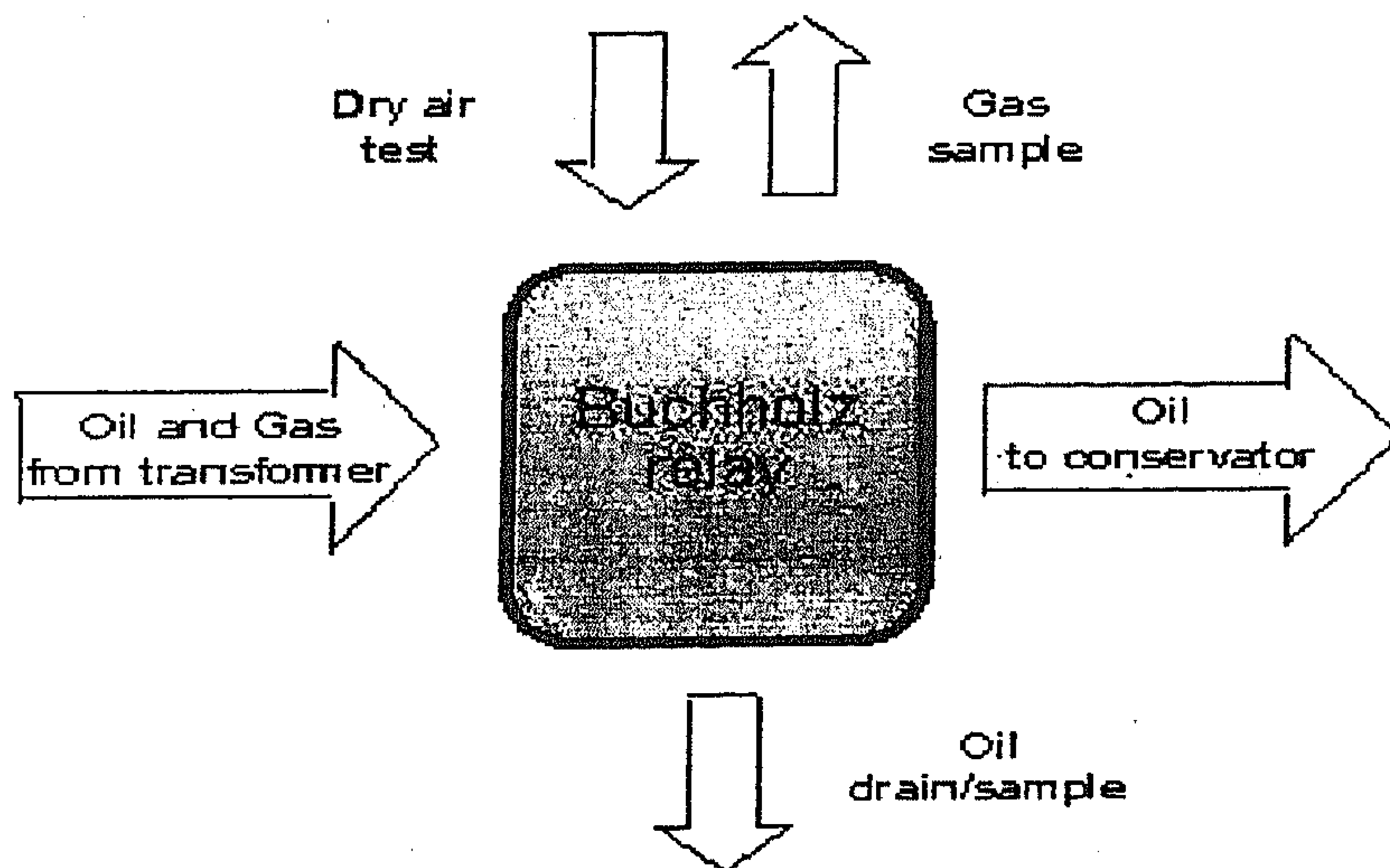
ظروف الخطأ ضمن محول تنتج الغازات مثل أول أكسيد الكربون ، والهيدروجين ، ومجموعة من المواد الهيدروكربونية. الخطأ الصغير ينتج كمية صغيرة من الغاز لتتجمع عمدا في حجرة جمع الغاز

(أ) متضمنة في جسم المرحل. عادة، بمجرد أن يحرك الزيت العوامة

(ب) تقع وتعمل المفتاح عادة لإرسال إنذار.

(ج) و الخطأ الكبير ينتج كمية كبيرة من الغاز الذي يدفع موجة من الزيت نحو المستودع. هذه الموجة تحرك الغطاء.

(د) في المرحل لتشغيل مفتاح المحول وإرسال إشارة إنذار. انخفاض حاد في مستوى الزيت وسوف يؤدى أيضا إلى هبوط في العوامة. وتتوفر فيه عوامتان مرتبة عادة على مرحلتين، والإنذار (ب) تليها رحلة (ج).



الشكل (4-8) تدفقات الزيت والغاز في المتابع بوخلز Bochholtz

تدفقات الزيت والغاز

Buchholz المرحلات مجهزه بعدد من الغاز والزيت والمدخلات والمخرجات ، بما فيها مرافق الاختبار وأخذ العينات

اخذ عينات الغاز : تخرج على مرأى الزجاج ومؤشرا لحجم الغاز الذي تراكم ، وعادة 100 – 400 سم^3. بعد إنذار أو إشارة الفصل هذا يجب أن يكون جمعها وتحليلها قبل عودة المحول إلى الخدمة. يمكن القيام بجمع الغاز في المرحل ، أو على مستوى الأرض إذا كان هناك ترتيبات مناسبة. ومن الواضح أن هذا الأخير هو أكثر أمنا وأسهل خيار.

الاختبارات الوظيفية : اختبار petcock الهواء الجاف يمكن أن تقبل في المرحل للتأكد من التشغيل الصحيح. حجم ضئيل من الهواء يعادل تراكم تدريجي من الغاز. الانفجار يحاكي الموجة الزيتية. هذه التجارب التي يشار إليها تسمي أحيانا باسم Buchholz Blowing. عند الانتهاء من الاختبار فانه من المهم أن يفرغ المرحل لإزالة الهواء الذي تم عرضه.

وضع صمام في أسفل المرحل حتى يمكن من أخذ عينة الزيت ولأجل أن يتم تفريغ المرحل من الزيت. وكما هو الحال بالنسبة لأخذ العينات والغاز ، هذا المرفق يمكن أن تخفض إلى مستوى الأرض لتعزيز أمان وراحة المشغل.

<u>الملحقات المساعدة لمرحل بوقلز</u>

مجموعة من الملحقات والخدمات المتاحة للمساعدة في التشغيل الآمن و الصحيح لل Buchholz المرحلات منها :

- مستوى الزيت و مجموعات اخذ عينات الغاز .
- أجهزة اخذ العينات من الغاز -- تلقائية .
- أجهزة اخذ العينات من الغاز -- يدوية .

- فاحصات الغاز في الموقع -- التحليل البسيط للغاز الجوى / الخطأ .
- فاحصات الغاز فى الموقع -- تكوين غاز الخطأ المعقد .
- أدوات اختبار المرحلات .
- إعادة معايرة .

الفصل الخامس

محطات المحولات

الفصل الخامس

محطات المحولات (Substations)

مفهوم محطات التحويل

أحيانا تسمى محطة الكهرباء الثانوية (محطة المحولات الثانوية) ، وتسمى محطة كهرباء ثانوية لأنها محطة فرعية من نظام القوي الكهربائية والذي يـشمل توليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها حيث تحويل الجهد من مرتفع إلى مـنخفض ، أو العكس باستخدام المحولات. وقد تتدفق الطاقة الكهربائية من خلال العديـد مـن المحطات الفرعية بين محطات التوليد والمستهلك ، ويمكن تغيير الجهد الكهربائي في عدة خطوات. المحطة الفرعية التي لها محول رافع يزيد من الجهد بينما يقلل التيار، في حين أن المحول الخافض يخفض الجهد مع زيادة التيار وذلك للتوزيـع المنزلي و التجاري. إن كلمة ثانوية تأتي قبل زمن من نشأة نظام التوزيع ليصبح شبكة. المحطة الثانوية فرعية الأولى كانت تتصل فقط بمحطة توليد طاقة واحـدة حيث يوجد المولد ، وكانت فروعا لمحطة توليد الطاقة.

تعتبر محطات التحويل من إحدى المكونات الرئيسية لأي نظام كهربائي ، إذ أن المنظومة الكهربائية كما هو الحال في دارة كهربائية بسيطة تتكون من مصدر للطاقة وخطوط نقلها وتوزيعها ومن ثم الجهة المـستهلكة لهـا، و دور محطـات التحويل في هذه المنظومة هو دور كبير له أهميته حيث يتمثل بتحويل الجهود من قيم لأخرى حتى يتم نقلها أو التعامل معها بسهولة وسلامة كاملة .

من المعروف لدينا بان الطاقة الكهربائية تولّد في محطات التوليـد المختلفـة حيث يتم اختيار بنائها بناءً على قرب مصادر الوقود و الميـاه وذلـك لمراعـاة النواحي الاقتصادية في تكلفة توليد الطاقة الكهربائية ، وقد تكون هذه المحطـات بعيدة عن مراكز استهلاك الطاقة الكهربائية ، لذا لا بد من ضرورة نقـل هـذه

الطاقة إلى المستهلكين في أماكن تواجدهم رغم البعد ، مما يجعلنـــا نحتـــاج إلـــى استخدام خطوط النقل الطويلة وضمن مسافات شاسعة لـضمان وصـــول الطاقـــة الكهربائية من محطات التوليد إلى مراكز الاستهلاك.

إن عملية نقل التيار الكهربائي عبر خطوط النقل يترتب عليه فقد في الطاقة الكهربائية المنقولة (Power Losses) وذلك بسبب أن الجزء المفقود يذهب في تسخين الموصلات الكهربائية ، وكلما زادت قيمة التيار الكهربائي المار تزداد كمية الفقد في الطاقة المنقولة وهذا يتضح حسب المعادلة ($P_{Loss} = I^2 * R$) ، إذ يمكن التقليل في الفقد إذا حاولنا تقليل المقاومة (R) ، علما بأن التقليل في المقاومة يزيد لنا من المقطع العرضي للموصل (Cross Sectional Area)وبالتالي الزيادة في كمية الموصل وزيادة التكلفة المترتبة عليه وخاصة عند الاستخدام لمسافات طويلة ، لذا قد تعتبر هذه الطريقة غير مجدية من النواحي الاقتصادية ، ومن هنا وجب علينا التفكر في تقليل الفقد عن طريق تقليل قيم التيار وهذا يتم فعليا من خلال رفع قيم الجهد إلى قيم عليا باستخدام مبدأ عمل محولات القوى الكهربائية التي تقوم برفع قيم الجهد وتخفيض قيم التيار أو بالعكس مع ثبات قيم القدرة وبنفس التردد.

والمحول الكهربائي عبارة عن جهاز استاتيكي (غير متحرك) وظيفته تحويل تيار متردد ذو جهد معين إلى تيار متردد أخر بجهد أخر (أعلى أو أقل) مع ثبات القدرة والقيام بنقل الطاقة الكهربائية من أماكن توليدها إلى أماكن استهلاكها ، وتقسم محولات القوى إلى محولات رفع أو إلى محولات خفض وتكون وظيفتها إما بالرفع وإما بالخفض.

يتكون المحول الكهربائي من ملف ابتدائي – عبارة عن سلك نحاسي معزول – يتصل طرفاه بمصدر التغذية ومن ملف ثانوي– عبارة عن سلك نحاسي معزول – يوصل طرفاه بالحمل الكهربائي أو الجهة المستهلكة المراد إمدادها بالقوة

الدافعة الكهربائية ، ويتكون أيضا من قلب حديدي مغلق مصنوع من الحديد المطاوع السيليكوني على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض .
ومبدأ العمل يعتمد على الحث الكهرومغناطيسي – إذ أن من احدي المزايا الهامـــة للتيار المتردد مقارنة بالتيار المستمر إمكانية تغيير جهده بسهولة بواسطة الحـــث الكهرومغناطيسي- في توليد القوى الدافعة الكهربائية في كلا الملفين وتعتمد قيمها على عدد اللفات في كلا الملفين إذ أن العلاقة بينها طردية كما هي موضحة فـــي المعادلة التالية:

$$(E1/E2 = N1/N2)$$

إذ انه وبعد الإغلاق لدارة الملف الثانوي وتوصيلها بالحمل الكهربـــائي فـــإن التيار المار في الملف الابتدائي يحدث سيلا مغناطيسيا متناوبا في القلب الحديـــدي يقوم بدوره بتوليد القوى الدافعة الكهربائية في كل لفة من كلا الملفين .

المنظومة الكهربائية البسيطة

– محطات التوليد Power Plants

التي تقوم بتوليد و إنتاج الطاقة الكهربائية ضمن جهود لا تتجاوز (25 kV) .

– محطات التحويل نقل / محولات الرفع :

Substations/Step-Up Power transformers

التي تقوم برفع جهد الطاقة المولدة في محطات التوليد إلـــى جهـــد الـــشبكة الكهربائية المقررة .

– خطوط النقل الكهربائي ذات الفولتيات العالية / شبكات النقل

High Voltage Transmission Lines:

التي يتم عن طريقها نقل الطاقة الكهربائية المولدة في محطات التوليد الى محطات التحويل (الخفض) المنشأة بالقرب من مناطق الاستهلاك وهي إما أن تكون عبارة عن شبكات هوائيةOverhead Lines أو كوابل أرضية.(Earthing Cables)

– محطات التحويل نقل / محولات الخفض

Substations/Step-Down transformers

التي تبنى بالقرب من مناطق الاستهلاك وهي تقوم بخفض جهد الشبكة الكهربائية العالية إلى جهد متوسطة وذلك تمهيدا لتوزيعها عبر خطوط شبكات التوزيع .

- خطوط التوزيع الكهربائي ذات الفولتيات المتوسطة / شبكات التوزيع
(Medium Voltage Transmission Lines)

التي يتم عن طريقها نقل الطاقة الكهربائية إلى محطات التوزيـــع المنتـــشرة فـــي مناطق الاستهلاك وهي إما ان تكون عبارة عن شبكات هوائيةOverhead Line أو كوابل أرضية Earthing Cables

- محطات التحويل (توزيع رئيسية)/ محولات الخفض
Substations/Step-Down transformers:

وهي تبنى في المناطق السكنية الكثيفة وبالقرب من الـــصناعيين المتوســـطين وتقوم هذه المحطات بخفض جهد الشبكة الكهربائية المتوســـطة إلـــى جهـــد متوسطة أخرى اقل لتوزيعها إلى المستهلكين الصناعيين المتوسطين ومحطات التوزيع الفرعية.

- محطات التحويل (توزيع فرعية)/ محولات الخفض
Substations/Step-Down transformers:

التي تقوم بخفض جهد الشبكة الكهربائية المتوسطة إلى جهد منخفضة وهـــي تبنى بالقرب من المستهلكين المنزليين و التجاريين و الصناعيين الصغار.

- خطوط التوزيع الكهربائي ذات الجهد المنخفض / شبكات التوزيع
Low Voltage Transmission Lines

التي يتم عن طريقها نقل الطاقة الكهربائية إلى المستهلك مباشرة وهي إما أن تكون عبارة عن شبكات هوائية(Overhead Lines) أو كوابل أرضية (Earthing Cables).

المستهلك : (Consumer) وهو إما أن يكون مستهلك منزلي أو تجاري أو زراعي أو صناعي أو خدمات .

دور محطات التحويل في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

أولاً)- إيجاد وتوفير الربط الكهربائي الإقليمي لشبكات النقل ما بين الدول المتجاورة مما يزيد من كفاءة واعتمادية الأنظمة الكهربائية من حيث إنتاج وتبادل الطاقة الكهربائية بين الدول المتجاورة.

ثانياً)- إيجاد نقاط الربط المشتركة لمحطات التوليد عن طريق ربطها بشبكة النظام الكهربائي الموحد من خلال رفع جهد مولدات الطاقة الكهربائية في محطات التوليد إلى جهد شبكة النظام الموحدة ، وبالتالي التمكن من نقل الطاقة الكهربائية المولدة الى مراكز الاستهلاك.

ثالثاً)- القيام بتخفيض قيم الجهد العالية و المتوسطة عند مراكز الاستهلاك ضمن الحدود والمتطلبات المناسبة للمستهلك.

رابعاً)- تنظيم جهد الشبكة الكهربائية عن طريق مبدلات التفريعة Tape) (Changersالمركبة داخل محولات القوى وعن طريق المكثفات (Capacitors) والمحاثات (Reactors) المتواجدة في محطات التحويل ذات القدرات العالية والمتوسطة.

خامساً)- حماية الدوائر الكهربائية المرتبطة بالنظام الكهربائي مثل دوائر المحولات و دوائر الخطوط عن طريق أنظمة الحماية التي تكفل لنا حصر الأجزاء المتضررة جراء الأعطال دون التأثير بالأجزاء الأخرى ، وبالتالي الاستمرارية في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية.

سادساً)- فصل الدوائر الكهربائية مثل دوائر الخطوط ودوائر المحولات عند الحاجة لإجراءات الصيانة والفحوصات المبرمجة أو عند الحاجة للتوسعة والتركيبات الإضافية عن طريق المفاتيح الكهربائية المتواجدة في محطات التحويل

أنواع محطات التحويل

تنقسم محطات التحويل إلى قسمين رئيسيين وهما موضحان كما يلي:

أولا- محطات النقل:

وهي المحطات التي تقوم بتحويل جهد النظام الكهربائي من جهد عالي إلى جهد عالي أخر أو إلى جهد متوسط وهي إما أن تكون :

محطات رفع وخاصة التي تكون مجاورة لمحطات التوليد ، حيث تقوم برفع جهد المولدات إلى جهد الشبكة الموحدة.

محطات خفض والتي تقوم بتحويل الجهد العالي إلى جهد عالي أخر ذو قيمة أقل أو إلى جهد متوسط تمهيدا لتوزيعها على مراكز الاستهلاك.

تقسم محطات النقل من حيث طبيعة و تصميم المحطة إلى قسمين وهما:

1- محطات النقل الخارجية : وهي التي تكون جميع دوائرها للجهد العالية في المساحات الخارجية والعازل المحيط بها هو الهواء الخارجي المحيط ، وأما دوائر الجهد المتوسطة فتكون داخل مباني خاصة بها والعازل المحيط هو المطاط الصناعي أو البلاستيك المقوى وهي أكثر الأنواع انتشارا .

2- محطات النقل الداخلية : وهي التي تكون جميع مكوناتها موجودة داخل مباني خاصة بها ، حيث تكون معدات ودوائر الجهد العالية موجودة ضمن أنابيب معدنية معزولة عن بعضها البعض باستخدام غاز سادس فلوريد الكبريت (SF_6) ، وأما دوائر الجهد المتوسطة فتكون في غرف مخصصة لها ومعزولة بالمطاط الصناعي أو البلاستيك المقوى... وتسمى هذه المحطات أيضا بمحطات النقل الداخلية التقليدية حيث تكون محولاتها متواجدة في الهواء الطلق خارج المباني وموصولة بالقضبان العمومية ومعدات الجهد العالية عن طريق الشبكات الأرضية.

ثانيا- محطات التوزيع:

وتقسم محطات التوزيع إلى محطات توزيع رئيسية ومحطات توزيع فرعية وهي موضحة كما يلي -:

محطات التوزيع الرئيسية :

وهي التي تقوم بتحويل جهد شبكة التوزيع الرئيسية من جهد متوسط إلى جهد منخفض ، وهي إما أن تكون من حيث تصميم المحطة-:

محطات خارجيـــــة :

بحيث تكون جميع دوائرها الرئيسية لكلا الجهدين موجودة في الساحات الخارجية والوسط العازل هو الهواء الخارجي المحيط وأما معدات القياس والحماية فتكون داخل مباني خاصة .

محطات داخليـــــــة :

بحيث تكون جميع دوائرها الرئيسية لكلا الجهدين موجودة داخل مبنى خاص باستثناء محولات القوى ويكون الوسط العازل للمعدات هو المطاط الصناعي أو البلاستيك المقوى.

محطات التوزيع الفرعية :

وهي التي تقوم بتحويل جهد شبكة التوزيع الرئيسية من جهد متوسطة إلى جهد منخفضة تتناسب مع توزيعها على الأحياء السكنية والتجارية والخدمية وغيرها ، وهي إما أن تكون:

محطات داخليـــــــة :

وهذه المحطات يمكن تركيبها ضمن حاويات معدنية مجمعة ومجهزة لتوصيل الخطوط الكهربائية لها بحيث توضع على قواعد مصممة لها ، ويمكن تركيبها وتصميمها داخل مباني مخصصة أو تحت الشوارع والأرصفة.

محطات خارجيـــــة :

وهذه المحطات تركب في الخارج بحيث قد تكون مركبة على الأعمدة الكهربائية أو قد تكون مركبة على قواعد أرضية.

عناصر المحطات الثانوية

عموما تتضمن المحطات فرعية واحدا أو أكثر من المحولات ، ومعدات التحكم والحماية والقطع. وفي المحطات الفرعية الكبيرة في ثانوية ، تستخدم قواطع الدوائر الكهربائية لوقف أي قصر في الدوائر أو زيادة التيارات التي قد تحدث على الشبكة. محطات التوزيع الصغيرة قد تستخدم قواطع إعادة توصيل الدائرة أو باستخدام الصمامات(الفيوز) لحماية أفرع الدوائر. والمحطة الفرعية عادة لا تحتوي على مولدات ، على الرغم من محطة توليد الطاقة الكهربائية قد يكون لها محطة فرعية قريبة.

والمحطة الثانوية النموذجية وسوف تتضمن: هياكل إنهاء الخطوط، و المفاتيح الكهربائية عالية الجهد،و واحد أو أكثر من محولات القدرة ، ولوحات مفاتيح الجهد المنخفض ، ونظام الحماية من الصواعق، وأنظمة التحكم ، نظام التأريض ، وأجهزة القياس. الأجهزة الأخرى مثل المكثفات المستخدمة لتصحيح معامل القدرة ويمكن أيضا أن تحتوي على منظمات الجهد.

والمحطة الفرعية قد تكون على السطح ، وتحت الأرض ، أو في المباني الموجودة لأغراض خاصة. المباني الشاهقة قد يكون لها محطة داخلية فرعية. وفي المناطق الحضرية عادة ما تكون المحطات فرعية موضوعة في الأماكن المغلقة للحد من ضوضاء المحولات ، وذلك لأسباب المظهر العام ، أو لحماية لوحات المفاتيح من أقصى الظروف المناخية أو التلوث.

وعندما يكون للمحطة الفرعية سياج المعدني ، يجب أن يكون يؤرض لحماية الناس من ارتفاع الجهد قد تحدث أثناء خطأ أو العطل في نظام النقل. الأعطال التي تنشأ عن قصر إلى الأرض في المحطة الفرعية يمكن أن تسبب ارتفاع جهد الأرضي

في المكان الذي يحدث فيه القصر. التيارات المتدفقة في سطح الأرض خلال الخطأ يمكن أن تتسبب في فرق جهد بين الأشياء المعدنية وبين الأرض تحت أقدام الشخص ؛ وهذا هو جهد اللمس والذي يشكل خطرا من الصدمات الكهربائية.

مكونات محطات النقل :

الأجزاء الرئيسية:

1- المحولات : (Transformers) وهي على عدة أنواع كما يلي :

المحولات الرئيسية (محولات القوى) : وتعمل هذه المحولات على رفع الجهد القادمة من المصدر أو القيام بخفضها وذلك قبل إرسالها عبر الشبكات الكهربائية أو إلى محطات التوزيع وهي ذات قدرات عالية .

المحولات المساعدة / محولات التأريض : وهي المحولات التي تكون مرافقة لمحولات القوى الرئيسية ذات القدرة العالية أو المتوسطة ، ولها عدة فوائد نذكرها كما يلي :

تأمين نقطة تعادل للدارة الثانوية في محولات القوي تزويد احتياجات محطة التحويل بالطاقة الكهربائية كالإنارة والتدفئة والتبريد والشواحن.

محولات القياس : وهي محولات التيار ومحولات الجهد والتي تستخدم لإغراض القياس والحماية وذلك عن طريق تخفيض قيم التيار والجهد إلى قيم مناسبة وحسب المتطلبات الفنية (110 فولت / 1 أمبير).

2- المفاتيح الكهربائية:

وهي المفاتيح الكهربائية التي تقوم بإجراء عمليات الفصل و الوصل وعمليات العزل و التأريض للأجزاء والدوائر الكهربائية في محطات التحويل ، وهي موضحة كما يلي :

القواطع الآلية: (Circuit Breakers)

وهي القواطع التي تقوم بفصل ووصل التيار الكهربائي للمعدات الكهربائية في الظروف الطبيعية عند الحاجة للصيانة أو التركيبات الإضافية وفي

الظروف غير الطبيعية بسبب الأعطال اللحظية أو الدائمة وهي مهيأة لإطفاء القوس الكهربائي الناتج عن عملية فصل التيار الكهربائي ، ولها عدة أنواع من حيث آلية العمل وطريقة ومادة العزل .

العازلات اليدوية : (Isolators)

وهي العازلات المستخدمة لتأمين العزل المرئي للدائرة الكهربائية بعد إجراء فصلها بالقاطع الآلي مسبقاً ، إذ يوجد نظام قفل كهربائي (Interlock) ما بين القاطع الآلي والمستعزل اليدوي بحيث يضمن عدم فتح المستعزل اليدوي إلا بعد فصل الدائرة بالقاطع الآلي وذلك بسبب ان العازل اليدوي لا يمكن به إطفاء الشرارة الناتجة بسبب فصل التيار الكهربائي .

مفاتيح التأريض : (Earthing Switches)

وهي المفاتيح المصاحبة لسكاكين العزل اليدوية وتستخدم من أجل تاريض الجزء المفصول والمعزول وذلك لتأمين الحماية للعاملين على معدات الدوائر الكهربائية عند عمليات الصيانة والفحص لها .

القضبان العمومية :

وهي مخصصة لتجميع الطاقة الكهربائية القادمة من المصدر تمهيدا لتوزيعها على الاحمال والمحولات ودوائر الخطوط ، وتقسم القضبان العمومية إلى عدة أقسام وأنظمة تعتمد على قدرة المحطة المغذية وهي :

نظام القضبان المفرد : والذي يستخدم في المحطات ذات القدرات المنخفضة والجهد المتوسط .

نظام القضبان المزدوج : والذي يستخدم في المحطات ذات القدرات العالية وأنظمة الجهد العالية وذلك من أجل الاستفادة من توزيع ونقل الأحمال الكهربائية في حالات الصيانة على الدوائر الكهربائية في المحطة وبالتالي استمرارية التغذية للأحمال الكهربائية.

نظام القضبان الحلقي : والذي يستخدم في المحطات ذات القدرات العالية وأنظمة الجهد الفائقة ويتكون من عدة مفاتيح كهربائية مربوطة مع بعضها البعض على التوالي ،و تربط عدة دوائر كهربائية وذلك من أجل الاستفادة من توزيع ونقل الأحمال الكهربائية في حالات الصيانة على الدوائر الكهربائية في المحطة وبالتالي استمرارية التغذية للأحمال الكهربائية.

المواسعات (المكثفات) والمحاثات (الملفات) :

وهي تستخدم لتنظيم الجهد عن طريق التحكم بالقدرة الغير فعالة الناتجة في النظام الكهربائي بسبب تغير الأحمال إما عن طريق سحبها (امتصاصها) بالمحاثات أو تعويضها توليدها بالمواسعات..

حارفات الصواعق الكهربائية : وتستخدم لحماية المحولات والمحاثات من الزيادة في الجهد.

الأجزاء الثانوية:

أجهزة الحماية والقياس : التي تقوم بحماية الدوائر الكهربائية وقياس القيم الكهربائية.

لوحات التحكم ومعدات الاتصالات : التي تقوم بالتحكم بتشغيل الأجهزة والمعدات الكهربائية إما عن طريق مركز المراقبة والتحكم باستخدام معدات الاتصالات المتوفرة في المحطة أو مباشرة من داخلها عن طريق شخص يكون مخول ومكلف بذلك..

دوائر التيار المستمر والتيار المتردد.

أجهزة الفحص ومعدات السلامة والإطفاء وأجهزة التكييف والتبريد والتدفئة.

عدادات الطاقة الكهربائية ولوحات تسجيل الأعطال ولوحات الإشارة والإنذار.

نظام التأريض العلوي والسفلي والعوازل الداعمة وأبراج المعدات.

محطات النقل الفرعية

محطات النقل فرعية تربط اثنين أو أكثر من خطوط النقل. وأبـسط حالـة فيها أن تكون جميع خطوط النقل لها نفس الجهد. وفي مثل هذه الحالات ، تتضمن محطات النقل الثانوية المفاتيح عالية الجهد والتي تـسمح بتوصـيل الخطـوط أو عزلها للصيانة. محطات النقل قد يكون فيها محولات للتحويل بين جهدين للنقل ، أو المعدات مثل منظم زاوية الطور للسيطرة على تدفق الطاقة بـين اثنـين مـن شبكات الطاقة الكهربائية المتجاورة.

محطات النقل الفرعية ، يمكن أن تتراوح من بسيطة إلى معقدة. " محطـة تحويل صغيرة " والتي تحتوي على القضبان بالإضافة إلى بعض قواطع الـدوائر الكهربائية. محطات النقل الكبيرة ، يمكن أن تغطي مساحة كبيرة (عـدة أفدنـة / هكتار) مع جهد متعدد المستويات ، وكمية كبيرة من معـدات الـتحكم والحمايـة (المكثفات ، والمرحلات ، المفاتيح ، مفاتيح قطع التيار الكهربائي ومحولات الجهد و التيار).

محطات التوزيع الفرعية

محطة التوزيع الفرعية تنقل القدرة من نظام النقل إلى نظام التوزيع للمنطقة. ليس اقتصاديا لتوصيل الكهرباء مباشرة إلى المستهلكين من شبكة النقل الرئيسية عالية الجهد ، ما لم تكن استخدام كميات كبيرة من الطاقة ، لذا فان توزيع التيار الكهربائي إلى محطة يقلل من قيمة مناسبة للتوزيع المحلي. ويكون دخول محطة التوزيع الفرعية الثانوية عادة لا يقل عن اثنين من خطوط النقل. قد يكون جهد الدخول، على سبيل المثال ، 115 كيلو فولت ، أو ما هو كائن في المنطقة. والناتج هو عدد من المغذيات. وعادة ما يكون جهد توزيع الجهد المتوسط ، بين2,4 و 33 كيلو فولت ويتوقف ذلك على حجم المنطقة والممارسات(الأنشطة) من المرافق المحلية.

المغذيات تكون خطوط هوائية ، على طول الشارع (أو كابلات تحت الشوارع في المدينة) وتغذي في نهاية المطاف محولات التوزيع فى الأماكن القريبة من العملاء.

وبالإضافة إلى تغيير الجهد ، مهمة محطة التوزيع الفرعية هي عزل الأعطال سواء في شبكات النقل أو التوزيع. ويمكن أيضا أن تكون محطة التوزيع الفرعية هي نقاط لتنظيم الجهد ، وان كان يمكن أيضا تركيب معدات تنظيم الجهد على طول دوائر التوزيع الطويلة (عدة كم / ميل). ويمكن العثور على محطة التوزيع الفرعية المعقدة في مناطق وسط المدن الكبيرة ، مع قواطع عالية الجهد ، وقواطع أخري وأنظمة احتياطية على جانب الجهد المنخفض. وقد تكون محطة التوزيع الفرعية الأكثر نمطية ، تحتوي قاطع ، محول واحد ، والحد الأدنى من المرافق على جانب الجهد المنخفض.

مجمع المحطات الفرعية

في مشاريع التوليد الموزع مثل مزارع الرياح ، مجمعات المحطات الفرعية قد تكون لازمة. انه يشبه إلى حد ما محطات توزيع القدرة الفرعية، على الرغم من أن لتدفق القدرة في الاتجاه المعاكس ، من العديد من توربينات الرياح تصل إلى شبكة نقل الكهرباء. عادة لأسباب اقتصادية يعمل نظام المجمع عند حوالي 35 كيلو فولت ، ومحطة التجميع الفرعية ترفع الجهد إلى قيمة جهد شبكة النقل. كما توفر محطات التجميع الفرعية تصحيح معامل القدرة، والقياس والمراقبة لمزارع الرياح.

تصميم محطات المحولات

القضايا الرئيسية التي تواجه مهندس الكهرباء هي الموثوقية والتكاليف. التصميم جيد يحاول إيجاد توازن بين هذين الهدفين ، لتحقيق ما يكفي من الثقة دون تكلفة مفرطة. وينبغي أيضا أن يسمح التصميم بسهولة التوسع في المحطة ، إذا كان ذلك مطلوبا.

اختيار موقع المحطة الفرعية يجب أن يأخذ في الاعتبار العديد من العوامل. مساحة كافية من الأراضي اللازمة لتركيب المعدات الكهربائية مع السماحية اللازمة للسلامة ، و ليحتوي جهاز كبير مثل المحولات. و حيث الأراضي أمر مكلف ، كما هو الحال في المناطق الحضرية ، فان لوحات المفاتيح المعزولة بالغاز تساعد على توفير المال بشكل عام. الموقع يجب أن يكون مجال للتوسع بسبب زيادة الحمل أو النمو المخطط. الآثار البيئية للمحطة الثانوية يجب أن يعتبر ، مثل الصرف الصحي ، الضجيج وآثار حركة المرور على الطرق. التأريض وإمكانية ارتفاع جهد الأرضي يجب أن يكون محسوبا لحماية المارة خلال فترة قصر الدائرة في نظام نقل الطاقة الكهربائية. وبطبيعة الحال ، يجب أن يكون موقع المحطة الفرعية في وسط مساحة التوزيع او مجال الحصول على الخدمة الكهربائية.

تخطيط محطات المحولات

الخطوة الأولى في تخطيط محطة المحولات هي إعداد الرسم البياني أحادي الخط الذي يظهر صورة مبسطة لأنظمة القطع وترتيبـات الحمايـة المطلوبـة ، وكذلك خطوط الإمداد الوافدة(دوائر الدخول) و المغذيات الـصادرة أو خطـوط النقل. هي الممارسة المعتادة من جانب العديد من المرافـق الكهربائيـة لإعـداد الرسومات البيانية أحادي الخط مع العناصر الرئيسية (الخطوط والمفاتيح ، قواطع الدوائر الكهربائية ، المحولات) رتبت على الصفحة على غـرار الطريقـة التـي ستكون الأجهزة المنصوص عليها في المحطة الفعلية.

الخطوط الوافدة يكون دائما لها قاطع الدائرة وسكينة فصل. وفـي بعـض الحالات يكون للخطوط ؛ أما القاطع أو السكينة و كـل ذلـك يعتبـر ضـروريا. وتستخدم السكينة لتوفير العزل ، عندما لا يمكن أن يتم إيقاف تحميل التيار أو في حالات الصيانة . قاطع الدائرة يستخدم كأداة للحماية لوقف تيارات الخطأ تلقائيـا ، ويمكن أن تستخدم لفصل وتوصيل الأحمال. يمكن أن تكتـشف حالـة الخطـأ أو

القصر حيث تدفقات التيار الكبيرة خلال قـاطع الـدائرة مـن خـلال اسـتخدام المحولات التيار . حجم ناتج محول التيار يمكن أن تستخدم لفصل قـاطع الـدائرة مما يتسبب في انقطاع دائرة التحميل المغذى من نقطة التغذية. وتسعى لعزل هـذا الخطأ عن بقية النظام ، والسماح لبقية المنظومة إلى مواصلة العمـل مـع تـأثير ضئيل. كل مفاتيح وقواطع الدوائر الكهربائية يمكن تشغيلها محليا (داخل المحطـة الفرعية) أو عن بعد عن طريق مركز التحكم والمراقبة الإشرافي.

توصل الخطوط على جهد معين إلى واحد أو أكثر مـن القـضبان عـن طريـق عناصر القطع. هذه يوجد مجموعات من قضبان التوزيع ، في العادة من أضـعاف الثلاثة ، حيث أن نظام الثلاث أوجه لتوزيع الطاقة الكهربائية منتشرا إلى حد كبير في جميع أنحاء العالم.

الترتيب من المفاتيح ، قواطع الدوائر الكهربائية والقضبان يؤثر على التكلفـة والموثوقية للمحطة الثانوية. في المحطات الفرعية الهامة تستخدم حلقة قـضبان ، القضبان المزدوجة ، بحيث أن فشل أي قاطع دائرة لا يؤدي إلى قطع الكهربـاء عن الدوائر الفرعية ، وحتى أجزاء من المحطة الفرعية قد يتم فـصلها لأعمـال الصيانة والإصلاح. و المحطات الفرعية المغذية لحمل صناعي واحـد فقـط قـد يكون بعض احتياطات الفصل والتوصيل ، لاسيما بالنـسبة للمنـشآت الـصغيرة. عندما تكون القضبان لها مستويات جهد مختلفة، توصل المحولات بين مـستويات الجهد عبر قواطع الدائرة، مثلها مثل خطوط النقل ، في حالة وجود قـصر علـى المحولات تفصل هذه القواطع.

وعلاوة على ذلك، يكون للمحطة الفرعية دائرة وقاية و تحكم دائمـا تعطـي الأمر للمفاتيح في حالة عدم قيام بعض العناصر بمهامها.

تصميم وتخطيط المحطة الفرعية

الخطوة الأولى في وضع تصميم المحطة الفرعية هو تـصميم نظـام التـأريض والسلامة.

التأريض والضمان Earthing and Bonding

هو توفير نظام التوصيل إلى الأرضي و التي يوصل بها الطرف المحايـد للمحول أو توصل بها معاوقات التأريض الكهربائية وذلك من اجل تمريـر الحـد الأقصى من تيار الخطأ. إن نظام التأريض يكفل أيضا عدم وجود تلف ميكـانيكي او حراري أو وقوع الضرر على المعدات داخل المحطة الفرعية ، مما يؤدي إلى سلامة القائمين بأعمال التشغيل والصيانة. كذلك فان نظام التأريض يضمن وجـود جهد ارضي متساوي equipotential bonding بحيـث انـه لا توجـد أي تدرجات جهد خطرة محتملة في المحطة الفرعية.

ويتعين اعتبار ثلاثة أنواع من الجهد عند تصميم المحطة الفرعية:

1. جهد التلامس **Touch Voltage** : وهذا هو الفرق في الجهد بين جهـد السطح وجهد المعدات المؤرضة ، فيما يقـف الإنـسان ويلمـس الهيكـل المؤرض.
2. جهد الخطوة **Step Voltage**_: وهذا هو الفرق في الجهد بين قـدمي الرجل عندما يقف وبين قدميه مسافة 1 متر ،في حين لا يلمس أي معـدات موصلة بالأرضي.
3. جهد الشبكة **Mesh Voltage** : هذا هو الحد الأقصى لجهد الـتلامس والذي ينمو في شبكة التأريض.

منهجية حساب التأريض للمحطة

حسابات معاوقات الأرضى وجهد التلامس وجهد الخطوة تبنى على أسـاس قياسات مقاومة الأرض للموقع ومستوى الخطأ للنظام. ثم يتم تحليل تصميم شـبكة الأرضي مع موصلات خاصة لتحديد المقاومة الفعالـة للتـأريض فـي المحطـة الثانوية ، والتي يحسب منها جهد التأريض .

وفي الممارسة العملية، من الطبيعي أن يؤخذ أعلى مستوى للخطأ لأغــراض حساب شبكة الأرضي للمحطة. وبالإضافة إلى ذلك، ومـــن الـــضروري لـــضمان هامش كافى بحيث يمكن التوسع في هذا النظام .

لتحديد المقاومة النوعية للأرض، تجرى التجارب فى هذا الموقـــع. وأفـــضل مناخ تنفذ فيه هذه التجارب هو الأحوال الجوية الجافة بحيث يتم الحـــصول علـــى قراءات المقاومة النوعية الجيدة.

مواد التأريض

1. الموصلات : موصل النحاس العاري هو الذي يستخدم عادة لشبكة التـــأريض المحطة. وعادة ما يكون لقضبان النحاس مساحة مقطـــع 95 ملليمتـــرا مربعـــا، وتزرع في عمق ضحل 0.25 - 0.5متر ، في مساحات من 3-7 متر مربع. وبالإضافة إلى احتمال دفن الشبكة فى الأرض، عادة تكون هناك حلقـــة منفـــصلة فوق الأرض وترتبط بها جميع الأجزاء المعدنية في المحطة الثانوية.

2. الوصلات : وصلات إلى الشبكة وغيرها من مفاصل التـــأريض لا ينبغـــي أن تكون ملحومة بالقصدير لأن الحرارة المتولدة أثناء ظروف الخطأ يمكن أن تتسبب في حدوث فشل الوصلات المشتركة. وعادة ما تثبت الوصلات بالمسامير ، وفـــى هذه الحالة ، ينبغي أن يكون وجه المفاصل معلب.

3. قضبان التأريض : يجب أن يستكمل شـــبكة التـــأريض بقـــضبان التـــأريض للمساعدة في تبديد التيارات خطأ الأرض وكـــذلك تخفـــيض إجمـــالي مقاومـــة التأريض للمحطة. هذه القضبان وعادة ما تصنع من النحاس الـــصلب، أو الفـــولاذ الملتفّ النحاسي.

4. تأريض سور الفناء: يمكن تأريض السور عمليا وتستخدم مـــن قبـــل مختلـــف المرافق. وهذه هي :

(1) توسيع شبكة الأرضي في المحطة من 0.5 الـــى 1.5 متـــر خـــارج السياج المحيط. يوصل السياج (السور) إلى الشبكة على مسافات منتظمة.

(2) يوضع السور خارج محيط شبكة التأريض من الفناء ويربط السور إلى نظام قضبان التأريض الخاصة به. وتكون قضبان التأريض ليست مرتبطة بـــشبكة التأريض الرئيسية في المحطة .

تصميم المحطة الفرعية

تصميم المحطة الفرعية في أمر في غاية الأهمية حيث ينبغـــي أن يكـــون هناك أمن الإمدادات. في الوضع المثالي تكون جميع الدوائر الفرعيـــة والمعـــدات مكررة، بحيث انه خلال الخطأ ، أو خلال فترة الصيانة ، يكون هناك مسار أخـــر لتوصيل القدرة للحمل. هذا من الناحية العملية غير مجدي نظرا إلى أن تكلفة تنفيذ مثل هذا التصميم تكون مرتفعة للغاية. وقد تم اعتماد أساليب لتحقيق حل وسط بين الأمن الكامل للتغذية الكهربائية وبين استثمار رأس المال. وهنـــاك أربـــع فئـــات مختلفة للمحطات الفرعية التي تعطى الإمداد الكهربائي :

- الفئة 1 : عدم الانقطاع أمر ضروري داخل المحطة الفرعيـــة تحـــت ظـــروف الصيانة أو القصر.
- فئة 2 : انقطاع قصير أمر ضروري لنقل الأحمال إلـــى مـــصدر بـــديل تحـــت ظروف الصيانة أو القصر.
- فئة 3 : فقدان دائرة أو قسم من المحطة الفرعية بسبب الخطأ أو الصيانة.
- فئة 4 : فقدان كامل للمحطة الثانوية بسبب القصر أو الصيانة.

مختلف المخططات للمحطات الفرعية

Different Layouts for Substations

موصل عمومي واحد single bus bar

التخطيط العام لمثل هذه المحطة الفرعية كما هو مبين في الشكل أدناه. مـــع هذا التصميم ، تتحقق سهولة تشغيل المحطة الفرعية. وهذا تصميم أيـــضا يـــضع الحد الأدنى من الاعتماد على إشارة التشغيل الكافي لأجهزة الحماية. بالإضـــافة

إلى ذلك هناك إمكانية دعم التشغيل الاقتصادي لإضــافة خلايــا المغــذيات فـــي المستقبل.

هذا فان المحطة الثانوية تتمتع بالخصائص التالية :

• كل دائرة لها أجهزة حماية وقاطع خاص بها وبالتالي فان حدوث قــصر بأحد الدوائر لا يؤدي بالضرورة إلى فقدان التغذية.

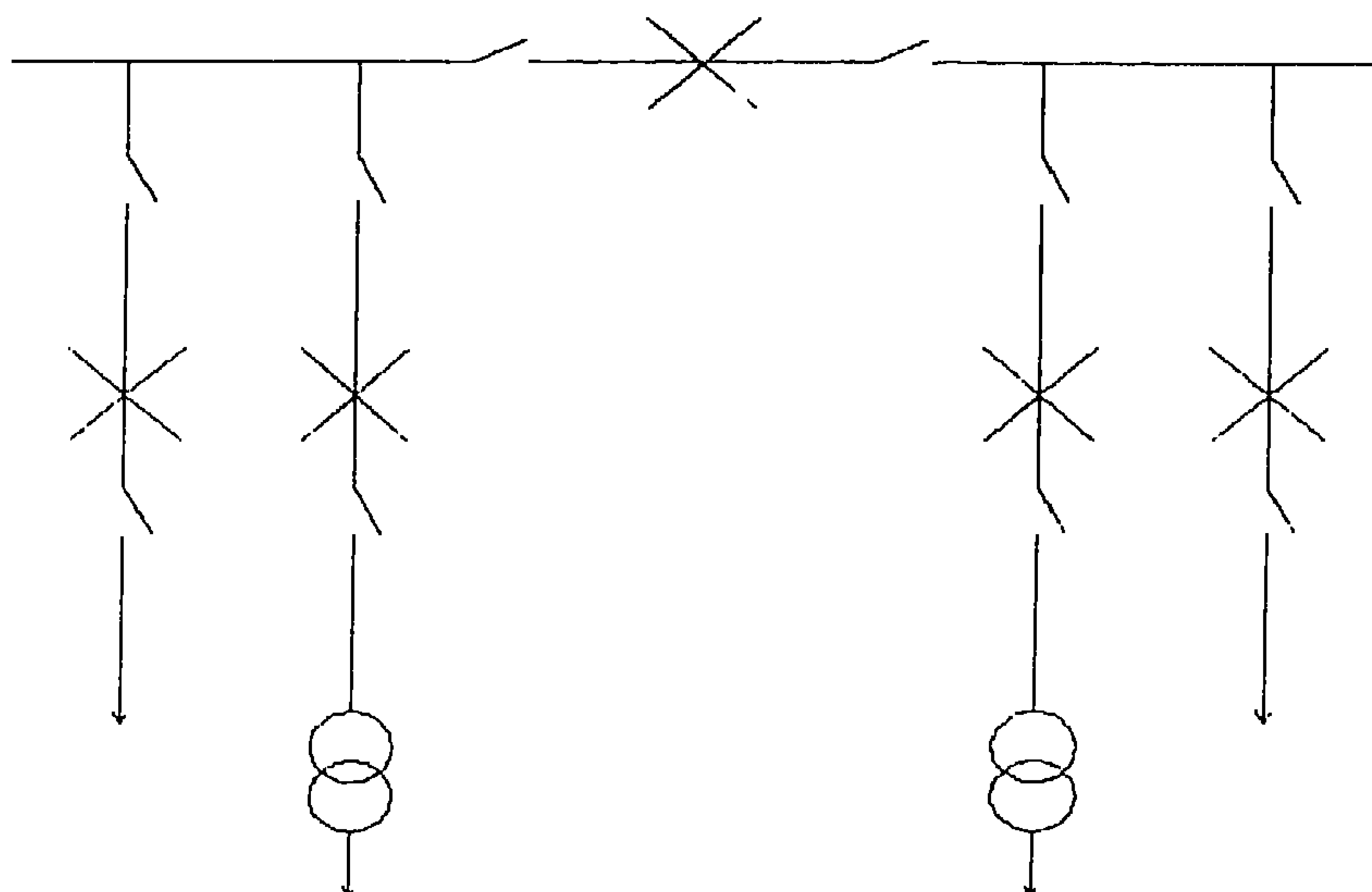
• حدوث خطأ على مغذي أو القاطع الدائرة للمحول يــسبب فقــدان تغذيـــة المحول أو الدائرة، قد يتم استعادة التغذية على واحدة منها بعــد عــزل الــدائرة المعيبة.

• خطأ على قاطع الدائرة لقسم من القضبان يسبب الإغلاق الكامل للمحطة الثانوية. ويجوز إعادة التغذية لجميع الدوائر بعد عزل الدائرة المعيبة.

• حدوث خطأ على موصل عمومي واحد يسبب فقدان التغذية علـــى احـــد المحولات ومغذي واحد. وصيانة قسم واحد من موصل عمومي أو عازل ســـوف تتسبب في انقطاع مؤقت على اثنين من الدوائر.

• صيانة المحول أو قاطع الدائرة ينطوي على فقدان التغذية للدائرة.

• إدخال السكاكين الالتفافية (عازل الدائرة) bypass isolators بين الموصل العمومي و عازل الدوائر يسمح بعمل الصيانة على قاطع الدائرة circuit breaker دون فقدان التغذية عن تلك الدائرة.



شكل (5-1) موصل عمومي واحد

المحطة الفرعية الحلقية Mesh Substation

النسق العام للمحطة الفرعية هو مبين في المخطط أدناه.

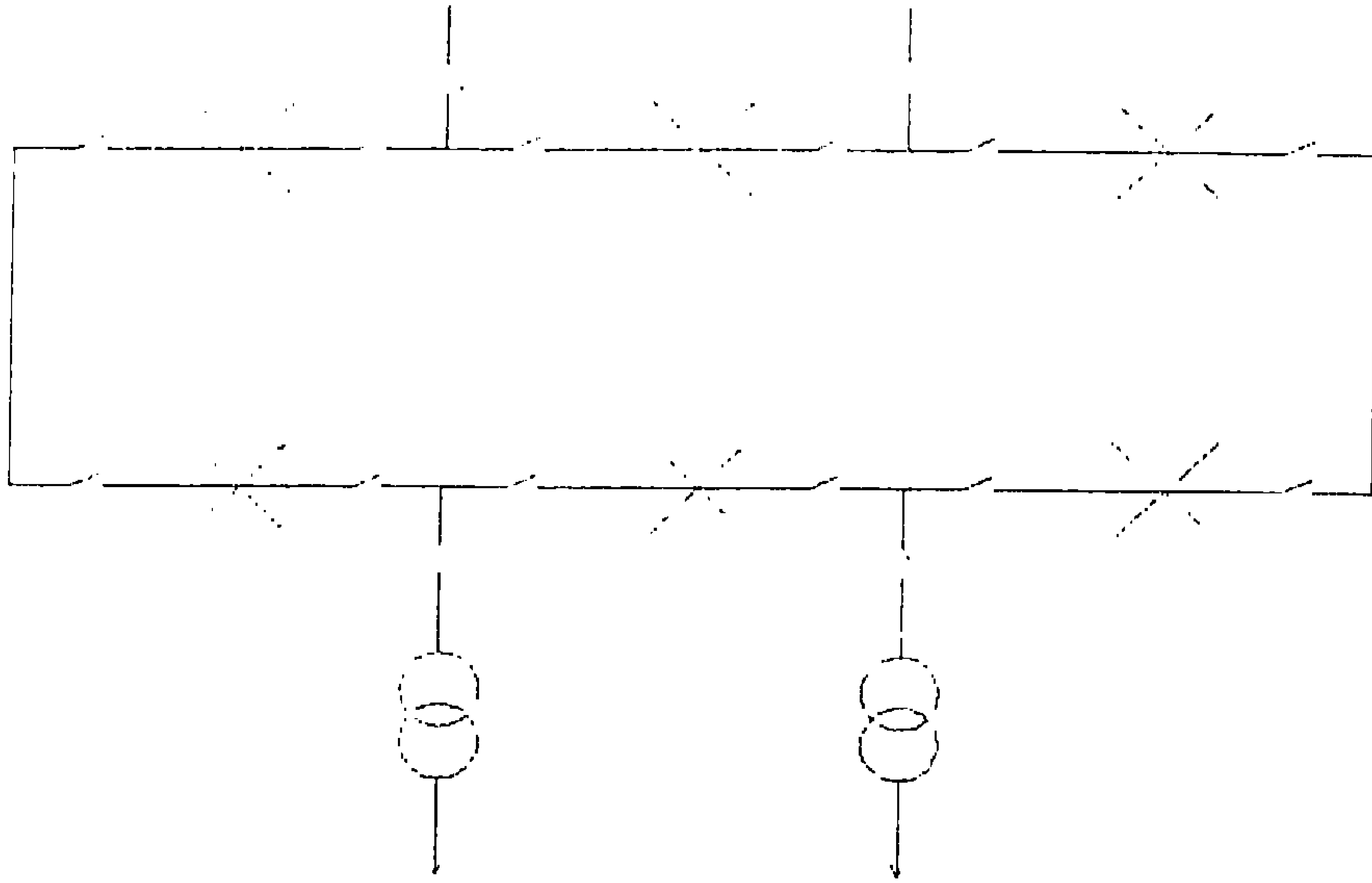
خصائص هذه المحطة الفرعية على النحو التالي :

• تشغيل اثنين من قواطع الدوائر الكهربائية يكون مطلوبا لربط أو قطـــع دائـــرة ، والفصل يتضمن فتح الحلقة.

• يمكن صيانة قواطع الدوائر الكهربائية دون فقدان التغذية الكهربية أو الحماية ، ولا يتطلب أي مهمات إضافية.

• تتسبب أعطال الموصل العمومي في فقدان واحد فقط من قواطع الدائرة. وسوف تنطوي عيوب القواطع على فقدان اثنين على الأكثر من الدوائر.

• عموما ، وليس أكثر من ضعف عدد دوائر الخروج و الدخول تستخدم من اجـــل ترشيد تحميل المعدات والقدرات والتصنيفات.



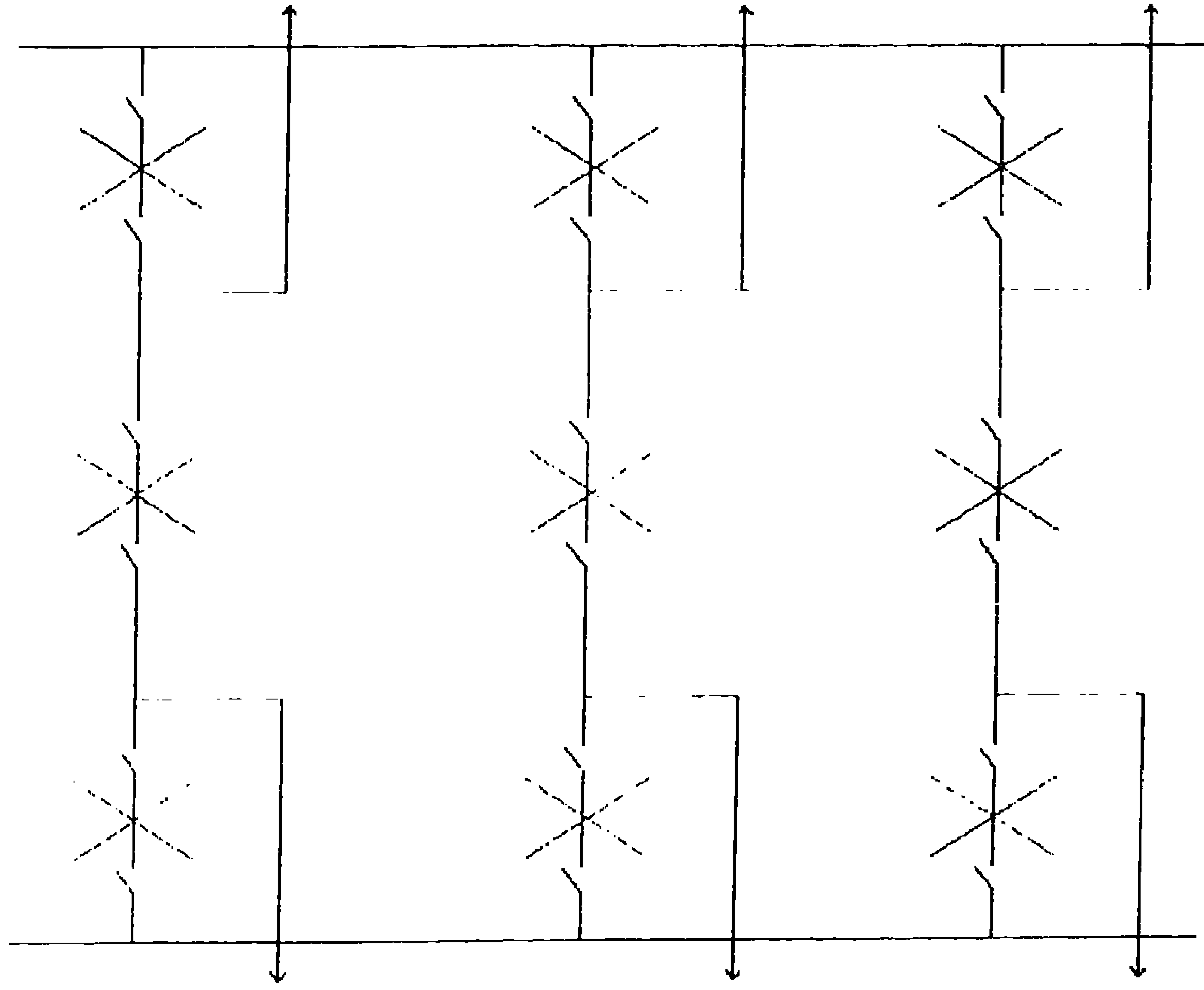
شكل (5-2) المحطة الفرعية الحلقية

التخطيط واحد ونصف قـــاطع دائـــرة One and a half Circuit Breaker layout

مخطط 1 1 / 2 قاطع دائرة الفرعية في الدائرة هو مبين في المخطط أدناه.

والسبب أن مثل هذا النسق يسمى واحد ونصف قاطع دائرة يرجع إلى حقيقـــة أن في هذا التصميم ، يوجد 9 قواطع دوائر كهربائية والتي تستخدم لحماية 6 مغذيات . وهكذا، واحد ونصف قاطع دائرة يستخدم في حماية واحد مغذي. بعــض مـــن خصائص هذا التصميم كما يلي :

- هناك تكلفة إضافية لقواطع الدوائر الكهربائية بالإضافة إلى الترتيبات المعقدة.
- انه من الممكن تشغيل أي زوج واحد من الدوائر، أو مجموعة مـــن أزواج مـــن الدوائر.
- هناك إجراءات وقائية عالية جدا ضد فقدان الإمدادات.



شكل(5-3) التخطيط واحد ونصف قاطع دائرة

مبادئ تخطيط المحطات الفرعية

يتكون تخطيط المحطة الثانوية أساسا من ترتيب عدد من عناصـــر لوحـــات المفاتيح في نمط منظم تحكمه وظيفتها و قواعد الفاصلة المكانية.

الفصل المكاني **Spatial Separation**

• **خلوص الأرض** Earth Clearance : و هو المسافة بـــين الأجـــزاء الحيـــة وهياكل الأرضي والجدران ، والحواجز والأرض.

• **خلوص الأوجه** Phase Clearance : وهذا هو المسافة بين الأجـــزاء الحيـــة بين الأوجه المختلفة.

• **مسافة العزل** Isolating Distance : وهذه هي الإزاحة بين أطراف ســـكينة العزل وأطراف التوصيلات لها.

• **خلوص القسم** Section Clearance : وهو المسافة بـين الأجـزاء الحيـة وأطراف قسم العمل. و حدود قسم هذا العمل ، أو منطقة الـصيانة، قـد تكـون الأرض أو المنصة التي يعمل عليها فني الصيانة.

فصل مناطق الصيانة Separation of maintenance zones

هناك طريقتين متاحة لفصل المعدات في منطقة الصيانة التي تكون معزولة وميتة:

1. احتياطات خلوص القسم

- استخدام فاصل من حاجز مؤرض الاختيار بين الطريقتين يعتمـد علـى مستوى الجهد وعما إذا كان الخلوص أفقيا أو رأسيا .
- خلوص القسم يتألف من متناول الوصول للرجـل ، يؤخـذ 8 أقـدام ، بالإضافة إلى خلوص الأرض.
- بالنسبة للجهد الذي يكون عنده خلوص الأرض 8 أقدام ، فان المـساحة المطلوبة سوف تكون هي نفسها مـا إذا كـان خلـوص القـسم أو الحـاجز المؤرض هو المستخدم.
- ومن ثم :

الفصل باستخدام الحاجز المؤرض= خلوص الأرض + 50 مم للحـاجز + خلوص الأرض

الفصل باستخدام خلوص القسم = 2.44متـر تطهيـر + خلـوص الأرض

• في الخلوص الراسي فانه من الضروري أن يؤخذ في الاعتبار الحيز الـذي تشغله المعدات والحاجة إلى وجود منهاج الوصول فـي الفولطيـات العاليـة.

• ارتفاع المنصة يؤخذ 1.37 متر أسفل أعلى نقطة من العمل.

إنشاء مناطق صيانة

بعض المناطق الصيانة تحدد بسهولة ومن البديهي الحاجة إليها كمـا هـو الحـال بالنسبة للقاطع الدائرة. وينبغي أن يكون هناك وسيلة لعزل كل جانب مـن قـاطع

الدائرة ، وفصلها عن الأجزاء الحية المجاورة ، عند عزلها ، سواء بخلوص القسم أو السواتر المؤرضة.

الفصل الكهربائي

• بالإضافة إلى مناطق الصيانة، والفصل ، من خـــلال مـــسافة عـــزل وخلـــوص الأوجه ، من المكونات الفرعية للمحطة والموصلات التي تربطها وتشكل الأساس الرئيسي لتخطيط المحطة الفرعية.

وهناك على الأقل ثلاثة من هذه الفصل الكهربائي للوجه الواحـــد والتـــي تكـــون مطلوبة في الدائرة :

1. بين أطراف عازل الموصل العمومي busbar isolator وتوصيلاتها.
2. بين أطراف قاطع الدائرة وتوصيلاته.
3. بين أطراف عازل المغذي وتوصيلاته.

وظيفة الفصل والتوصيل

وظيفة الفصل والتوصيل وظيفة هامة تؤديها المحطة الفرعية ، هي التي توصل خطوط النقل أو غيرها من العناصر من وإلى النظام. أحداث الفصل و التوصيل (المناورات) يمكن أن تكون "مخططة" أو "غير مخططة" وأحيانا تسمى مبرمجة أو غير مبرمجة أي يخطط لها برنامج مسبق ، شهري أو سنوي.

قد تكون هناك حاجة إلى عزل خط النقل أو غيره من العناصر للصيانة أو لتشييد الشبكات الجديدة ، فعلى سبيل المثال ، إضافة أو إزالة خط نقل أو محول.

للحفاظ على موثوقية الشبكة ، لا يتم فصل الشبكة الكهربائية بأكملها من اجل الصيانة. يجب أن يتم جميع العمل الذي يتعين القيام به، من الاختبارات الروتينية أو إضافة محطات فرعية جديدة ، مع الحفاظ على النظام برمته يعمل ويغذي الأحمال المطلوبة.

ولعل الأهم من ذلك ، حدوث قصر في خط النقل أو أي عنصر آخر. بعض الأمثلة على ذلك : نخط أصيب بالبرق وحدث قصر ، أو سقوط برج بفعل رياح

شديدة. وظيفة المحطة الفرعية هي عزل الجزء المعطل من النظام في اقرب وقت ممكن.

وهناك سببين رئيسيين هما : القصر يسبب إتلاف المعدات ، وأنها تؤدي إلى زعزعة استقرار النظام بأسره. فعلى سبيل المثال، ترك خط نقل في حالة قصر سوف يسبب إحراق الخط ، وبالمثل ، محول يترك في حالة قصر فانه ينفجر في نهاية المطاف. وفي حين أن هذا حدث، واستنزاف القدرة يجعل النظام أكثر غير مستقرا. لذا فان فصل العنصر المعطل، بسرعة، يقلل إلى أدنى حد من كلتا هاتين المشكلتين.

محطات التوزيع

مكونات محطات التوزيع الرئيسية:

المحولات : (Transformers) وتقسم إلى نوعين كما يلي:

محولات القوى : (Power Transformers) تقوم بخفض الجهد المتوسطة إلـــى قيم متوسطة أقل تمهيدا لتوزيعها على المستهلكين.

محولات التأريض :(Earthing Transformers) ولها نفس مبدأ عمل محـــولات التأريض في محطات النقل.

المكثفات : (Capacitors) التي تتحكم بالقدرة المفاعلة (الغير فعالة) وبالتالي تنظيم الجهد وتحسين معمل القدرة .

لوحات المبدلات : (Changers Panels) وهي تتكون من:

قواطع الدارة الكهربائية : تقوم بالفصل والوصل للدوائر الكهربائية في الظـــروف الطبيعية وغير الطبيعية.

محولات القياس : التي تقوم بخفض قيم التيار والجهد من اجـــل أجهـــزة الحمايـــة والقياس.

القضبان العمومية: المخصصة لتجميع الطاقة الكهربائية وهي من النوع المفرد .

كامحات الصواعق :(Surge Arrestors) حماية معدات محطــة التحويــل مــن الزيادة في الجهد.

لوحات التحكم والقياس والحماية ولوحات الإشارة والإنذار.

معدات الاتصالات و التأريض.

دوائر التيار المستمر والتيار المتردد وأجهزة الفحص والسلامة والإطفاء.

مكونات محطات التوزيع الفرعية :

محولات القوى : تقوم بخفض الجهد المتوسطة إلى قيم منخفضة تمهيدا لتوزيعهــا على المستهلكين.

المفاتيح الكهربائية : وهي المفاتيح الكهربائية التي تقوم بإجراء عمليــات الفــصل والوصل وعمليات العزل للمحولات عن المصدر المغذي لها ، وهي إما أن تكــون عدة مفاتيح كما في النظام الحلقي أو مفتاح واحد كما فــي النظــام الــشعاعي ذو مصدر التغذية المفرد.

لوحة توزيع الجهد المنخفضة.

محطــة المحــولات الثانويــة المدمجــة Compact secondary substation النموذجية يكون لها المواصفات التالية:

- يجب أن تحقق أعلى مستويات الأمان للمشغلين والعامة وتختبــر طبقــا للمواصفات القياسية الدولية التي تشمل:
- العزل – ارتفاع درجة الحرارة – زمن القصر والتيار الأقصى في دوائر التأريض – درجة الحماية– درجة العزل – قصر القوس الداخلي
- مقاومة عالية ضد العوامل الطبيعية والصدأ باستخدام الصاج المجلفن
- جهاز لتفريغ الضغط لحماية المشغلين والعامة من الأخطار
- الأجزاء يجب أن تكون مغطاة ضد التلامس العفوي عند التعامــل مــع المحطة

- وعاء لتجميع 20% من زيت المحول في حالة تسربه لتقليـــل أخطـــار الحريق
- إمكانية زيادة الأقفال لجميع الأبواب لضمان الإحكام
- مفصلات من الاستانلس ستيل لضمان الصلابة و لضمان عدم الصدأ
- حماية ضد التكثيف الداخلي
- إمكانية استخدام لوحات الربط الحلقي الهوائي والغازي

الأسس التصميمية لغرف الخدمات والبوابات في محطات المحولات

غرف كهرباء ومياه:

يتطلب إمداد الفراغات المعمارية بالكهرباء العديـــد مـــن الاحتياجـــات وعلـــى المعماري أن يوفرها بالكم المناسب لاستيعاب المحولات والمولدات والماكينـــات المختلفة التي تحتاجها هذه العملية .

فيجب على كل مبنى عام أن يحتوي على :

1 . غرفة محولات .

2. غرفة العدادات (اللوحات) .

3. غرفة المولدات .

1- غرفة المحولات :

يجب أن يوجد في كل مبنـــى عـــام فـــراغ لمحـــول واحـــد علـــى الأقـــل (Transformer room) طاقة من500 ك . ف . ا . إلى 2000 ك . ف . ا . ، وإن كانت معظم المباني الكبيرة تحتاج إلى أكثر من محول .

تكون اصغر فراغ لغرفة محول واحد هي 4×4مترا ، وقد تكون بمضاعفات هذه الأبعاد إذا احتاجت الطاقة المطلوبة للمبنى لأكثر من محول واحد ، وفي هذه الحالة يفضل تغذية المحولات بالكهرباء من مصدرين أو أكثر في المدينة بحيـــث

إذا توقف أحد المصادر عن العمل يتم تحويل المحلات أوتوماتيكيـا للتغذيـة مـن المصادر العاملة .

وقد تكون غرفة المحولات إما في الدور الأرضي أو في البدروم ويفضل أن تكون أعلا من مستوى الأرضي بحوالي (60) سم (أي ارتفاع درجتـين) لمنـع دخول الماء إلى الغرفة ،ولها باب من الحديد المجلفن له فرز (فتحات مثل الشيش) في الجزء السفلي بارتفاع 1 م تقريبا ويجب أن يفتح الباب من الخارج ويفضل أن يكون الباب مباشر على الشارع وذلك لسهولة دخول وخروج المحول لإصـلاحه أو تغييره في حالة حدوث عطل . ويجب أن يكون عرض البـاب كافيـا لـدخول المحول محمولا على ونش شوكة (fork lift) .

كما يجب مراعاة تهوية الغرفة جيدا بوجود شباك له فـرز. وتحتـوي هـذه الغرفة على محول يتفرع منها مجريان الكابل بحيث يتصل أحداهما بلوحة الضغط العالي والآخر يتصل بلوحة توزيع الضغط المنخفض الخاصة بـالمبنى ، ويكـون عمق المجرى حوالي 60سم، سم ومغطاة من الحديد .

ويجب وضع شبك كفاصل بين اللوحات والمحول حتى يمنع دخـول أي شـخص إلى المحول لخطورة لمس المحول .

2- **غرفة العدادات (اللوحات) :**

هذه الغرفة تكون ملاصقة للوحات توزيع الجهد المنخفض الخاصة بالمبنى ، مثل لوحات المصاعد والتكييف والإضاءة وغير ذلك مـن الخـدمات . وهـذه الغرفة لا تحتاج لتهويه لأنها تحتوي فقط على لوحات (التي تكـون علـى شـكل خزانة) ، ومن هذه الغرفة يتم توزيع الكهرباء على كل أجزاء المبنـى. بحيـث يخرج من لوحة توزيع المبنى، الكابل الصاعد لتغذيـة الطوابـق المختلفـة فـي العمارة وعند كل دور يتفرع من الكابل الصاعد لوحة توزيع فرعية لتوزيع التيار على الشقق المختلفة وعند مدخل الشقة توضع لوحة توزيع فرعية أخرى لخدمـة الشقة .

3- غرفة المولدات :

وفي كل مبنى كبير عام أو خاص يجب تـوفير غرفـة لمولـد احتيـاطي (Generator) ،وبصفة خاصة في المستشفيات والمباني المرتفعة التي تـستعمل مصاعد وأجهزة تكييف مركزية ، مثل الفنادق ومباني المكاتب والمساكن . وفي حالة انقطاع التيار الكهربائي الأساسي عن المبنـى يعمـل المولـد الاحتيـاطي أوتوماتيكيا بدائرة كهربية مستقلة لتشغيل الوحدات الرئيسية بالمبنى (مثل غـرف العمليات في المستشفى ومصعد واحد في مبنى المكاتب أو المجمـع الـسكني ، بالإضافة إلى إضاءة السلالم وعناصر التوزيع الأفقية لـضمان خـروج الـزوار والعاملين من المبنى إذا تطلب الأمر ذلك ، مع إمكانية تـشغيل نظـم وأجهـزة الانذاز والمكافحة ضد الحريق ولمبة في كل وحدة سـكنية ، ويراعـى إمكانيـة تشغيل تلك المولدات بالوقود (غاز - بنزين - سولار) أي يجب توفير خزانات قريبة من مكان التشغيل كما يجب أن يكون موضع هذه المولدات قريبا من غرف المحولات ولوحات التوزيع لتقليل تكاليف التوصيلات الكهربائية اللازمة بينهما .

كما يراعى أن يوضع المولد الكهربائي في مكان ذو تهوية مناسبة ، كـذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار استخدام مدخنة لطرد عادم محركات المولدات بحيـث يكون اتجاه العادم بعيدا عن المنشاة ، مع مراعاة تخفيض تأثير الضوضاء الناتجة عن التشغيل بإبعاد الغرفة وعزلها . ويجب عمل قاعدة خرسانية أسـفل المولـد لتمنع من اهتزاز الأرض .

يجب ملاحظة انه مهما كانت كفاءة المولد الاحتياطي فانه يجب عدم الاعتماد عليه في تشغيل جميع نشاطات المبنى وإلا زادت التكلفة بدرجة كبيرة . وبـالرغم من ذلك لا يجب تشغيل مولد على حمل يزيد عن 80%من قدرتـه حتـى يعمـل بأقصى كفاءة ممكنة .

4- **غرف الماء.**

غرف ذات أهمية كبرى في عمل تغذية لمبنى بالماء اللازم ولذلك فـــإن هـــذا الفراغ من الناحية التصميمية مماثل تماما لغرف الكهرباء، حيث يحتـــوي علـــى المولدات و المحولات و العدادات، ولكن يزيد عنها وجود خزان أرضـــي يعمـــل على تخزين الماء تحت الأرض حيث هذا الخزان معالج .

السور والبوابة:

وظائف السور:

1. الوصول إلى طريق السور، بحيث يحيط بكافة عناصر المشروع ويلم بها.
2. حماية المشروع وعناصره، وبالتالي فإن السور له وظيفة أمنية.
3. الحماية من بعض العوامل البيئية، وذلك من خلال عملـــه كمـــصد للريـــاح وإلقائه للظلال، وكذلك الحد من الضجيج الموجود خارج المشروع.

العوامل الواجب مراعاتها في تصميم السور:

1. وحدة السور مع المشروع ومبانيه، بحيث لا يبدو غريبا عنها وإنمـــا يكون جزءا لا ينفصل عن المشروع.
2. أن يحقق السور الوظائف المطلوبة من الحماية والتحكم، وذلـــك مـــن خلال تحديد الارتفاع المناسب للسور، وكذلك تحديد المـــواد البنائيـــة للسور.

أما البوابة : فإنها المدخل الذي سيعطي الانطباع الأول عن المـــشروع، لـــذلك لابد وأن تكون معبرة وتحمل الصفة والطابع العام للمشروع.

ومن أهم وظائف البوابة هو التحكم بالدخول والخروج من وإلى المشروع، ولـــذلك فإنها بالأغلب تحوي الفراغات التالية :

1. غرفة أمن وحراسة.
2. غرفة التدقيق وفحص كروت الأعضاء.

والمشاريع الكبيرة عادة ما تحوي أكثر من بوابة واحدة، بحيث يكون هناك بوابـــة رئيسية، وبوابات فرعية على كل شارع تقريبا، والبوابة الرئيـــسية تكـــون أحيانـــا مزدوجة بحيث يكون هناك بوابة أولى يـــتم مـــن خلالهـــا الـــدخول إلـــى أرض المشروع، وعادة ما تكون مدخلا للسيارات إلى المواقف، ومن ثم تليهـــا البوابـــة الثانية والتي يتم خلالها الوصول إلى عناصر المشروع المختلفة، وهـــذه البوابـــة (الثانية) تكون المسئولة عن الأمن والتحكم بالزوار.

الفصل السادس

ظاهرة الرنين في المحولات

الفصل السادس

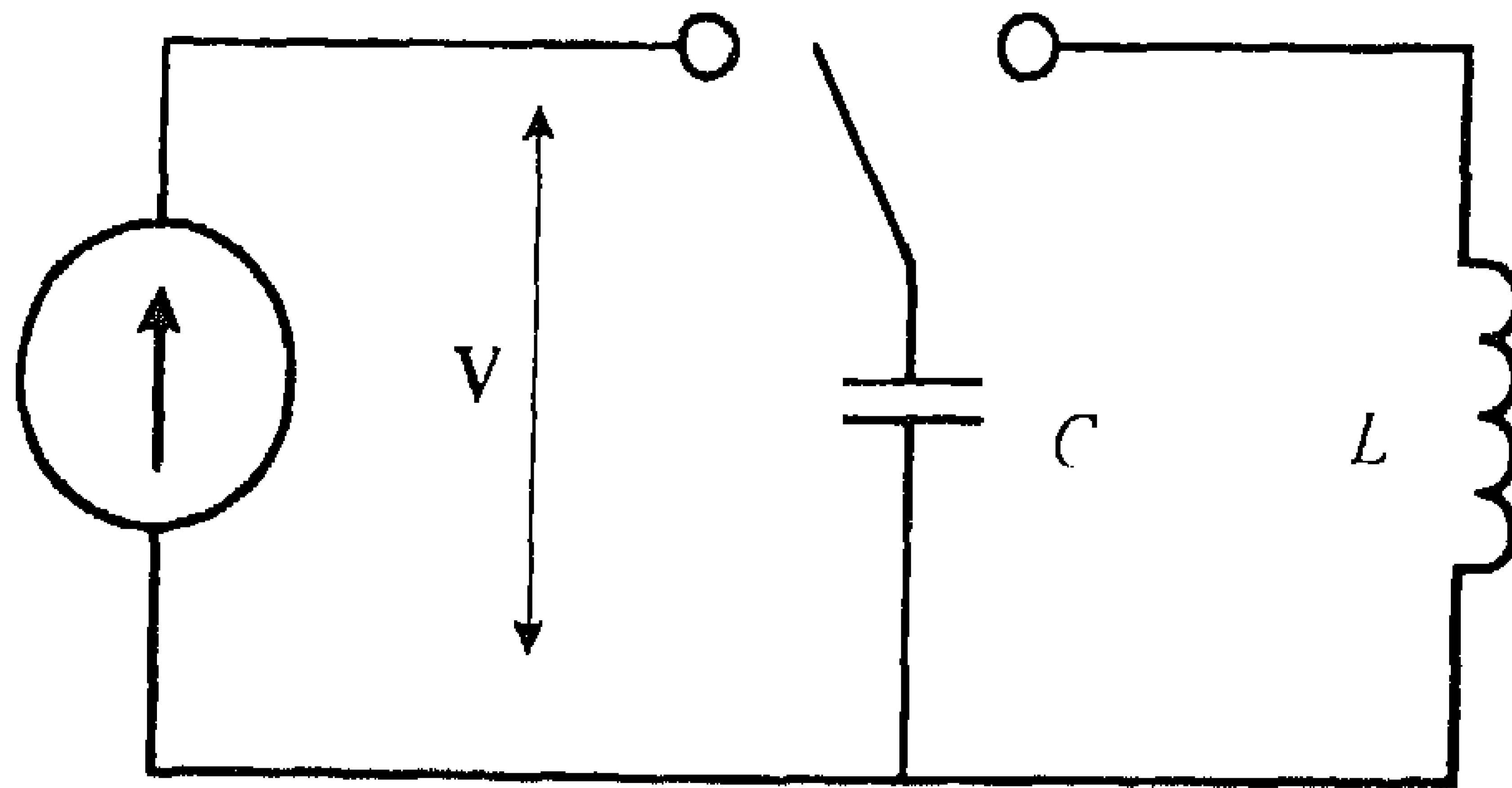
ظاهرة الرنين في المحولات

ظاهرة الرنين في دوائر التيار المتردد

إن تساوي تردد الذبذبات القسرية المنقولة من الخارج إلى نظام فيزيائي مع تردد الذبذبات المطلقة لهذا النظام يسمى بالرنين. ويظهر الرنين في الدوائر الكهربية عند تساوي تردد منبع التيار المتردد مع تردد الذبذبات المطلقة للدائرة الكهربائية.

والدائرة المحتوية علي ملف محاثة وسعة بإمكانها أن تصبح دائرة تذبذبية أي يحدث بها تفريغ للسعة في ملف المحاثة. فإذا شحنت سعة ما شكل (6-1) في بادئ الأمر علي جهد ابتدائي قدرة V_0 ثم وصلت بملف محاثة فأنه يظهر في الدائرة تيار تفريغ I ويزداد هذا التيار زيادة تدريجية. و يجب أن تكون زيادة شدة التيار تدريجية لان القوة الدافعة الكهربية للحث الذاتي e_L تحد من زيادتها والتي يمكن تعريفها بالعلاقة :

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$



شكل (6-1) دائرة تذبذبية Oscillatory circuit

ومع ازدياد شدة التيار تتراكم طاقة قدرها $Li^2/2$ في المجال المغناطيسي للمحاثة L. وبفضل هذه الظاهرة لا ينقطع التيار في الدائرة عندما تفرغ شحنة السعة تماما

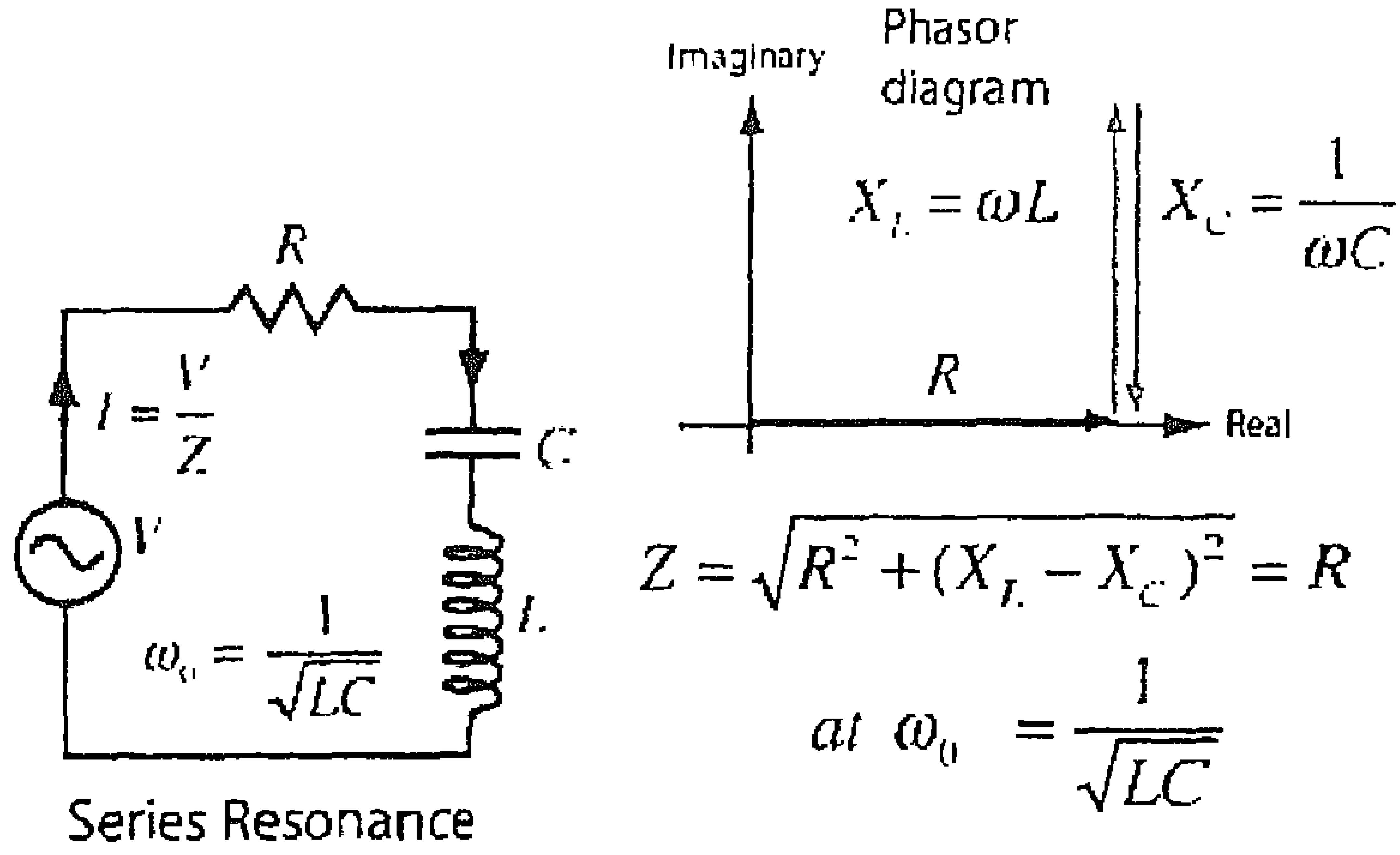
(أي عندما يصبح الجهد علي أطراف المكثف يساوي صفر) ، لان القوة الدافعة الكهربية للحث الذاتي تحد من انخفاض التيار فهي تحتفظ بسريان التيار في نفس الاتجاه الذي يمر به عند تفريغ المكثف وان كان الاحتفاظ بسريان التيار يتم في هذه الحالة بفضل طاقة المجال المغناطيسي للملف وهذا التيار يصبح تيارا شاحنا للسعة في الاتجاه العكسي ، أي أن القطب المشحون بشحنة موجبة يحصل علي شحنة سالبة. وإذا لم يوجد أي فقد في الدائرة التذبذبية فأن إعادة شحن السعة يستمر حتى تشحن السعة إلى الجهد الابتدائي V_0 ، وعند ذلك تستعاد كل الطاقة من المجال المغناطيسي للملف إلى المجال الكهربائي للسعة. بعد ذلك يبدأ تفريغ السعة من جديد في المحاثة في الاتجاه العكسي وهكذا تتكرر العملية، ولا يحدث أي تضاؤل في هذه الذبذبات إذا كانت الدائرة مثالية ، حيث أن التردد الزاوي لهذه الذبذبات يعتمد على محاثة وسعة الدائرة فقط:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

وعند توصيل الدائرة التذبذبية بمنبع التيار المتردد يمكن لظاهرة الرنين أن تحدث إذا كان التردد الزاوي للمنبع مساويا للتردد الزاوي والطبيعي للدائرة w_o ، وهناك حالتان من حالات الرنين ، الأولى و هي حالة رنين الجهد والتي يمكن أن تحدث عند توصيل عناصر الدائرة المفاعلة بالمنبع علي التوالي، أما الحالة الثانية فهي رنين التيار الذي يحدث عند التوصيل علي التوازي.

ويمكن لرنين الجهد أن يحدث في الجزء غير المتفرع من دائرة التيار المتردد (الموصل علي التوالي) المحتوي علي المنبع و محاثة (ملف) وسعة (مكثف) وعلى المقاومة البحتة التي يتحتم وجودها شكل (6-2) ، و إذا كان الجهد الموجود على أطراف الدائرة V فإن شدة التيار في الدائرة حسب قانون اوم تكون :

$$I = \frac{V}{\sqrt{r^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$



شكل (6-2) دائرة رنين الجهد ومضلع كمياتها الموجهة

فإذا كانت $\omega - \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ فإن المفاعلتين الحثية والسعوية في الدائرة تتساويان ،

أي أن $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ ونتيجة لهذا فإن شدة التيار تكون: $I = \frac{V}{r}$ **z=r**

و $$\cos \varphi = \frac{r}{z} = 1$$

وإذا كانت المقاومة البحتة في الدائرة صغيرة فإن شدة التيار في الدائرة تزداد بحدة في حالة الرنين وفي نفس الوقت تحدث زيادة كبيرة للغاية في الجهد على أطراف السعة وملف المحاثة وهذه الزيادة لها أهمية بالغة. ويمكن لهذه الجهود ان تفوق الجهد الموجود على أطراف الدائرة ، إذا كانت المقاومة r أصغر من ωL وبالتالي فإنها تكون أصغر من $\frac{1}{\omega \ C}$ وبما أن الجهد V في حالة الرنين تساوي $V = Ir$:

، فإن الجهد $V < I\omega L$ أو $V < I/\omega C$

$$Ir < I \cdot \frac{1}{\omega C} \text{ ، } Ir < I \cdot \omega L$$

ولكن بما أن $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ في حالـــة الــرنين ، فمـــن هـــاتين الــصيغتين المذكورتين نحصل على شرط عام وموحد لإمكانية زيادة الجهود الجزئية عن جهد الدائرة ككل وهذا الشرط هو:

$$r < \sqrt{\frac{L}{C}}$$

ويقاس المقدار $\sqrt{L / C}$ بوحدات المقاومة و هو يسمى بالمعاوقة الموجبة أو المعاوقة المميزة للدائرة التذبذبية ويركز اليه بالرمز ρ :

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

وتبرز النسبة بين المعاوقة الموجبة والمقاومة البحتة للدائرة التذبذبية الخواص الرنينية للدائرة. وهذه النسبة تسمى بمعامل جودة الدائرة ويركز اليه بالحرف Q أي أن:

$$Q = \frac{\rho}{r} = \sqrt{\frac{L}{C}} \div r$$

هذا بالإضافة الى أن عامل جودة الدائرة يساوي النسبة بين جهد المقاومة البحتـــة وجهد السعة أو المحاثة (وذلك في حالة الرنين).

وإذا زادت قيمة المفاعلتين الحثية والسعوية في آن واحد بمقـــدار n مـــرة أي إذا أبدلنا المفاعلتين X_L , X_C بالمفاعلتين:

$$X_C^{'} = nX_C \text{ ، } X_L^{'} = nX_L$$

فإن شدة التيار في الدائرة لن تزيد. أما الجهود الجزئية فسترتفع قيمتها بمقـــدار n مرة لتصل الي القيم :

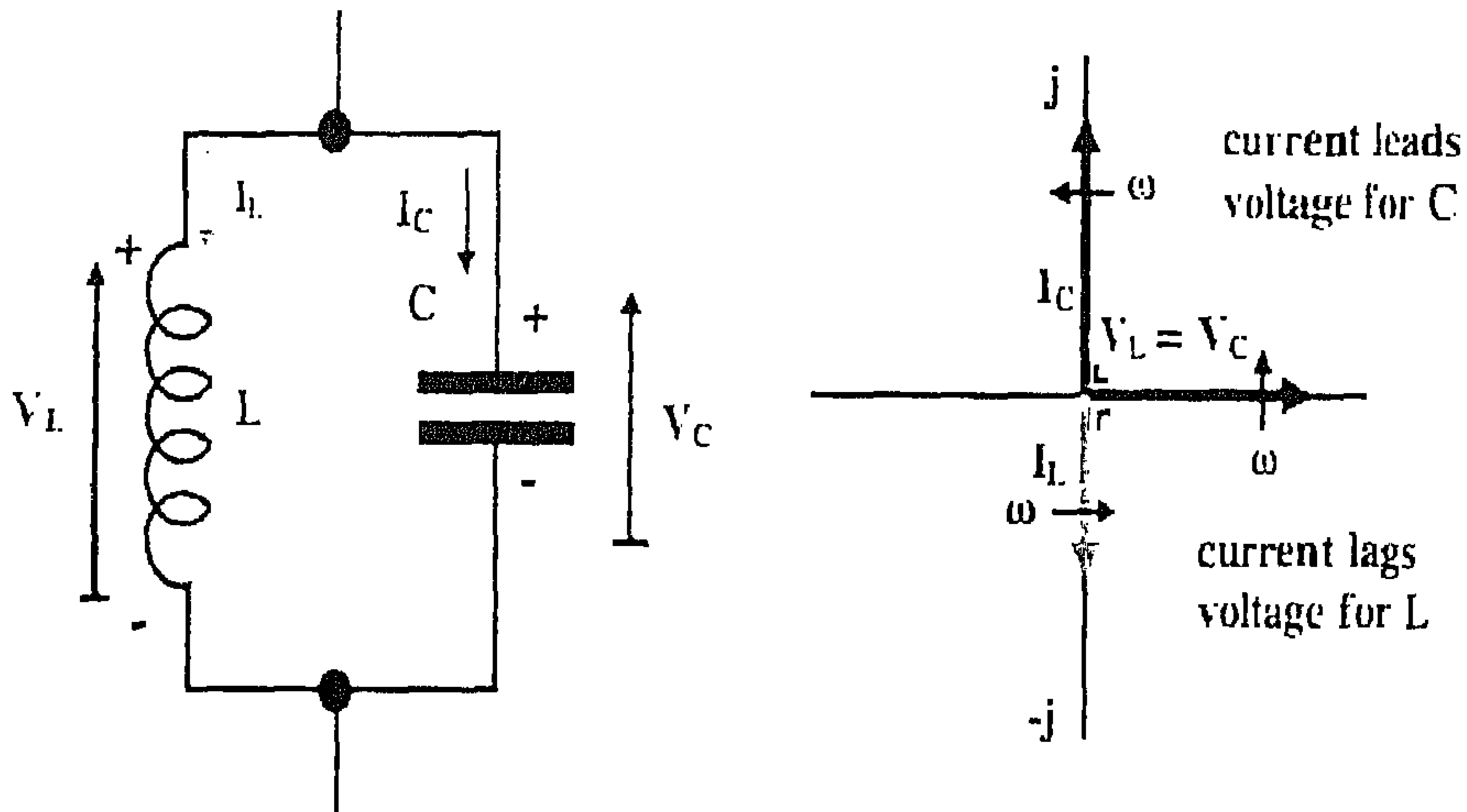
$$V_L = nV_L \text{ ، } V_C^{'} = nV_C$$

وهكذا يمكن من حيث المبدأ أن نزيد من الجهدين الجزئيين بدون حدود مع عـدم إحداث أي تغيير في شدة التيار. ومن الناحية العملية تنتهي الزيادة المسموح بها في الجهود المفاعلة عند حد انهيار المادة العازلة الموجودة بين أقطاب المكثف أو لفات الملف.

ويعلل السبب الفيزيائي لظهور الزيادة في الجهود الجزئية بتذبذب كميات كبيرة من الطاقة بين المجال الكهربائي للسعة والمجال المغناطيسي للمحاثة.

ورنين الجهد ظاهرة غير مرغوب فيها في معظم حالات الأجهزة الكهربائية، حيث أنها تكون مرتبطة بظهور جهود زائدة عن الحد وذلك بصورة غير متوقعة. وهذه الجهود تفوق جهد تشغيل الجهاز عدة مرات مع العلم بأن المصهرات لا تمنع ظهور هذه الجهود الزائدة عن الحد.

إلا أن ظاهرة رنين الجهد تستعمل في هندسة الاتصالات الكهربائية مثل الراديو والتليفزيون والتحكم الآلي (الأوتوماتيكي) علي نطاق واسع وذلك لضبط الدائرة علي تردد معين.



شكل (6-3) دائرة رنين التيارات ومضلع كمياتها الموجهة

أما عند توصيل الدائرة التذبذبية مع المنبع على التوازي شكل (6-3) فـيمكن أن تظهر ظاهرة رنين التيار . ويعبر عن قانون أوم لهذا التوصــيل علـــى التـــوازي بالمعادلة:

$$I = U\sqrt{g^2 + (b_C - b_L)^2}$$

وتحدث ظاهرة رنين التيار عندما تتعادل القابلية السعوية b_C مع القابلية الحثية b_L تماما أي $b_C = b_L$. وفي هذه الظروف يكون التيار الكلي في الدائرة كالآتي:

$$\cos\varphi = 1 \ ، \ t = U_g$$

وبما أن التيارات في الفروع المفاعلة تتناسب مع نفس الجهد، فإن هذه التيارات في حالة الرنين تكون متساوية:

$$I_C = Ub_C = I_L = Ub_L$$

ويظهر في الشكل (6-3) مضلع متجهات الدائرة في حالة الرنين. وإذا زادت كـل من القابلتين الحثية والسعوية بمقدار n مرة، أو بمعنـــى آخـــر إذا أبـــدلنا b_c وb_L بالقيم:

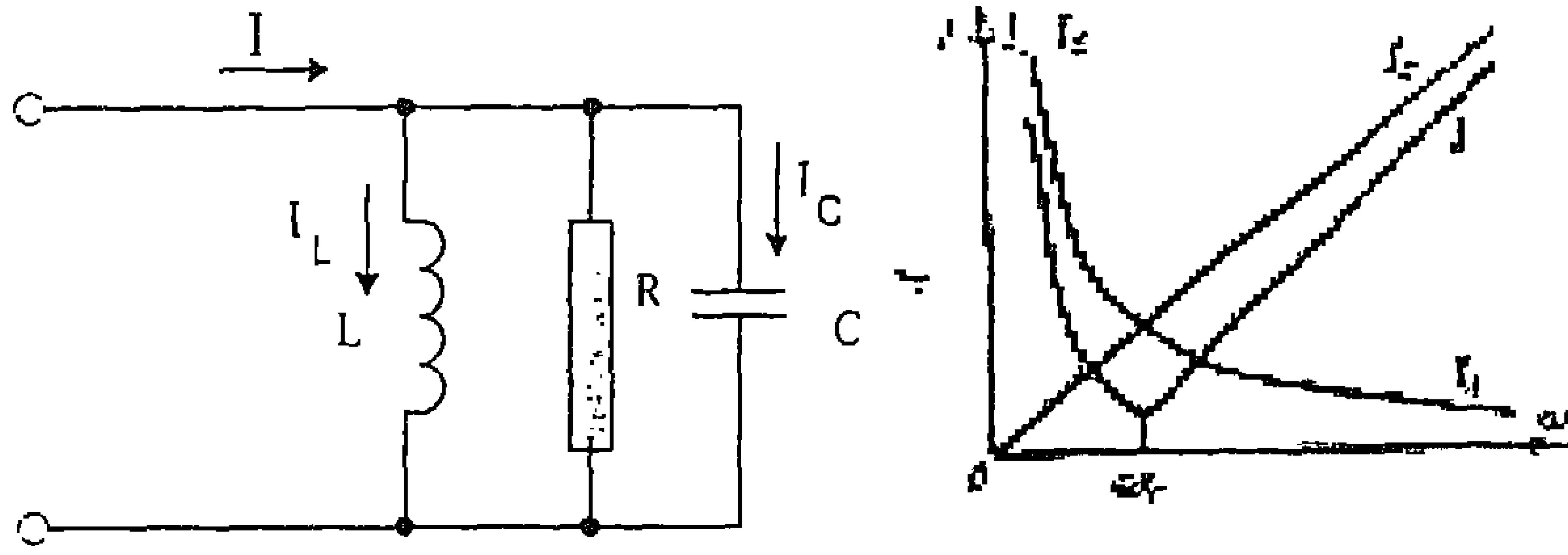
$$b'_L = nb_L \ ، \ b'_C = nb_C$$

فإن التيارات في هذه الفروع تزداد بمقدار n مرة أيضاً، أما التيار الكلـــي الـــوارد من منبع الطاقة الكهربائية كما هو (I=Ug). وبهذا باستطاعتنا من حيـــث المبـــدأ زيادة التيار في الفروع المفاعلة بدون حدود مع عدم إحداث أي تغيير فـــي تيـــار المنبع. تتمتع مستقبلات التيار المفاعل لأي الملفات والمكثفات بمواصـــلة معينـــة، وعلى وجه الخصوص ينطبق هذا على الملفات المفاعلة ، وبالتـــالي فإنـــه عنـــد توصيل هذه المستقبلات بالدائرة لزيادة التقبلية (التهاودة) تزداد مواصـــلة الـــدائرة أيضا مما يؤدي الى زيادة تيار المنبع.

وإذا تمكنا من التعبير عن الدائرة المتفرعة (الموصلة على التوازي) بدائرة مكافئة شكل (6-4) في حالة رنين التيار بحيث تكون هذه الدائرة متكونـــة مـــن فـــرعين

مفاعلين وفرع منفصل ثالث به مقاومة بحتة فقط وبما أن: $b_C = \omega C$ و $b_L = \frac{1}{\omega L}$

وأن $\omega C = \frac{1}{\omega L}$ فإن التردد الزاوي للرنين يكون:



شكل (6-4) الرسم البياني المكافئ لدائرة رنين التيارات ومنحنى الخصائص الترددي

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_\circ$$

أي أنه يساوي التردد الزاوي الطبيعي للدائرة ، مما يتفق مع التعبير العام للرنين . ويتعاكس التيار الحثي مع التيار السعوي من حيث الطور وذلك مع تساوي سعتيهما ، وبالنسبة لمنبع الطاقة يعادل كل منهما الآخر ، مما يوضح سبب إطلاق اصطلاح رنين التيار علي هذه الظاهرة . ففي الوقت الذي يكون فيه التيار الحثي متجها إلى نقطة الالتقاء العليا من الدائرة يكون التيار السعوي متجها في الاتجاه المعاكس ، وبهذا تنتقل الطاقة من المجال المغناطيسي لفرع المحاثة إلى المجال الكهربائي لفرع السعة، وبعد ربع دورة تعود هذه الطاقة إلى المجال المغناطيسي مرة أخري، أي أن التيار الناتج عن تضاؤل المجال المغناطيسي للمحاثة يصبح تيارا شاحناً للسعة، وعلى عكس ذلك، فإن تيار تفريغ السعة يثير المجال المغناطيسي للمحاثة. ويظهر في الشكل 126 ب منحنى الرنين للدائرة المعطاة بالشكل 126 أ. ومن المنحنى نري أن التيار I_C السعوي يتزايد تزايدا خطيا

ومتناسبا مع التردد. أما التيار الحثي I_L فيتناسب تناسبا عكسيا مع التردد، ولا يعتمد التيار الفعال مع التردد. وتعين نقطة التقاء المنحنى I_C مع المنحنى I_L حالة الرنين. ويمر التيار المفاعل في حالة رنين التيار بحلقة مغلقة متكونة من المحاثة والسعة. أما الأسلاك التي توصل الدائرة التذبذبية مع منبع الطاقة وكذلك منبع الطاقة نفسه فتتحرر تماما من التيار المفاعل.

وفي حالة الدائرة المثالية التي تكون المواصلة فيها تساوي صفرا $(g=0)$ تكون المسامحة أيضا مساوية للصفر $(y=0)$ ، أما المعاوقة فتساوي مالا نهاية $(x=\infty)$ وبالتالي فإن الرنين المثالي للتيار يعادل قطع الدائرة .

ولا يصح أن نطبق الشرط $\left(\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}\right)$ على حالة الدائرة التي توجد في فروعها المتوازية مقاومات بحتة موصلة على التوالي مع المستقبلات المفاعلة (ملف المحاثة والسعة) ذلك لان قيم هذه المقاومات البحتة تؤثر في القيم المكافئة للمحاثة والسعة.

ومع هذا فإن الشرط $bc=b_L$ ينطبق على هذه الدائرة أيضا، وبما أن:

$$b_L = \frac{\omega L}{r_L^2 + (\omega L)^2}$$

$$b_C = \frac{1/\omega C}{r_C^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$$

فإن شرط رنين التيار في هذه الدائرة يكون:

$$\frac{\omega C}{(\omega C r_C)^2 + 1} = \frac{\omega L}{r_L^2 + (\omega L)^2}$$

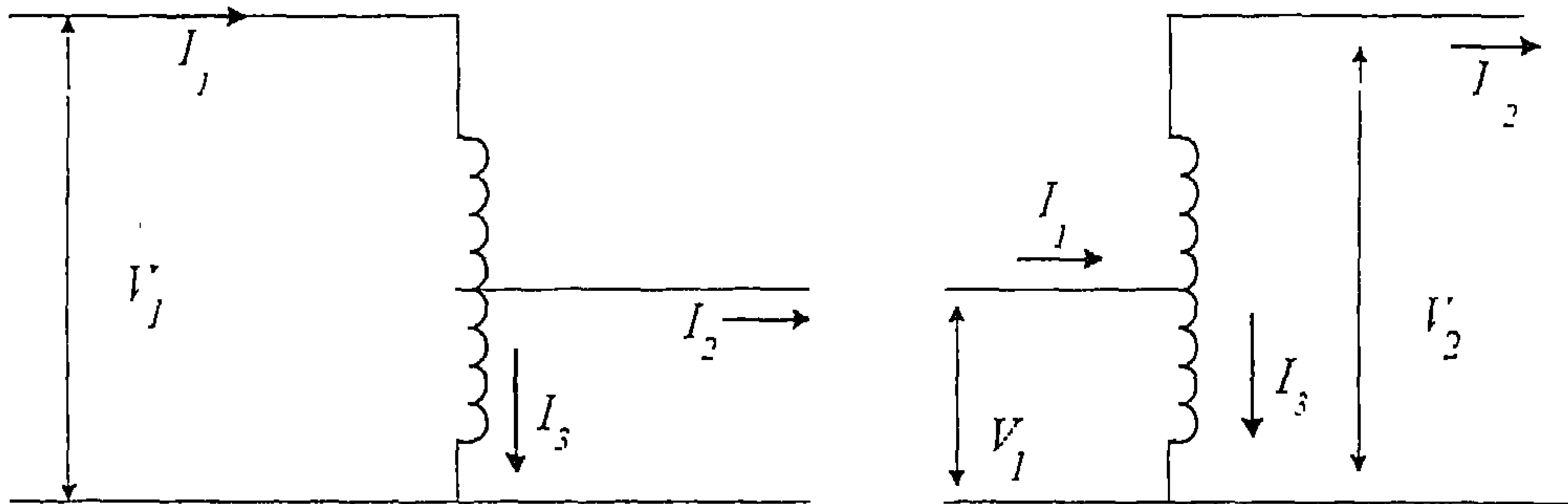
أي أن عناصر الدائرة الفعالة تدخل في الشرط إلى جانب العناصر المفاعلة. وننوه بأن رنين التيار يختلف عن رنين الجهد فـــي عـــدم خطورتـــه علـــى الأجهـــزة

الكهربائية، لان التيارات القوية في حالة رنين التيار لا تظهر إلا إذا كانت تقبلية (مهاودة) الفروع كبيرة للغاية أي إذا أدخلت في الدائرة ملفات محاثة ضخمة ومجموعات كبيرة من المكثفات . كذلك لا تحدث هنا ظواهر غير متوقعة وذلك لأنه لا توجد أي علاقة بين التيارين في كل من الفرعين، حيث أن التيار في كل من الفرعين يعين على أساس قانون اوم.

المحولات الذاتية الأحادية الطور والثلاثية الأطوار

يلزم في كثير من حالات نقل الطاقة الكهربائية أن توصل دائرتان لا تزيد النسبة بين جهديهما عن 2 بمحول كهربائي. وعلى سبيل المثال ، في الدوائر عالية الجهد: 110، 220 ك.ف ، من الأفضل اقتصاديا في مثل هذه الحالات أن نستخدم محولا ذاتيا بدلا من المحول العادي، حيث أن كفاءة الأول أكبر كما أن أبعاده أقل من المحول العادي مع نفس القدرة المقننة.

ويختلف المحول الذاتي عن المحول العادي في انه يتكون من ملف واحد فقط وهو ملف الجهد المرتفع، أما ملف الجهد المنخفض فهو يعتبر جزء من ملف الجهد المرتفع. ويمكن لملف الجهد العالي في المحول الذاتي أن تعمل كملف ابتدائي أو ثانوي شكل 210.



شكل (6-5) دائرة توصيل المحول الذاتي مع الدوائر الخارجية

ويعتمد المحول الذاتي في طريقة تشغيله على عدم تغير الفيض Φ_{max} الموجود بقلب الجهاز عند عدم تغير الجهد الابتدائي وذلك لان:

$$V_2 \approx 4.44 f w_i \Phi_{max}$$

ويؤدي هذا التدفق إلى إثارة قوة دافعة كهربائية في كل لفة من لفات الملـــف، ولا تعتمد هذه القوة الدافعة الكهربية عمليا على شدة التيار المار بالملف. وبالتالي فـــإن توزيع الجهد بين أجزاء الملف المختلفة يظل ثابتا. ويمكن النظر إلي ملف المحول الذاتي على انه يتكون من ملفين ابتدائي وثانوي مستقلين وترتبط الجهود والتيارات في المحول الذاتي بنفس العلاقات التقريبية التي تنطبق علي المحول العادي:

$$\frac{V_1}{V_2} \approx \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

وعند ذلك يمر تيار في الجزء المشترك من الملف تياران في آن واحـــد وهمـــا I_1 وI_2 وبالتالي فإن محصلة شدة التيار في الجزء المـــشترك مـــن الملـــف تـــساوي المجموع الهندسي للتيارين الابتدائي والثانوي. وبما أن هذين التيارين متعاكـــسان في الطور تقريبا فانه يمكننا اعتبار التيار المار في الجزء المشترك مـــن الملـــف يساوي: $I_2 - I_1$ وذلك بعد إهمال التيار الممغنط.

فإذا كانت نسبة التحويل لا تختلف كثيرا عن الواحد فإن الاخـــتلاف بـــين I_1 وI_2 يكون قليلا. اما الفرق بينهما فيكون مقدار صغير بالنسبة لكل منهما. ويمكننا هـــذا من صنع جزء الملف الذي تنطبق فيه لفات المحول بنفس عدد اللفات ولكـــن مـــن سلك اقل سمكا بكثير. ولهذا تكون ملفات المحول الذاتي أقل تكلفة. هذا بالإضـــافة إلى أن الملفات في هذه الحالة تتطلب حيزا اقل مما يمكننا من تصغير نافذة قلـــب المحول وبالتالي من أبعاد القلب.

وتتعين أبعاد المحول بقدرته الظاهرية المحسوبة وهي القدرة المقننة التي يعطيهـــا المحول: $S_T = V_1 I_1 \approx V_2 I_2$

إلا أن القدرة المحسوبة S_{AT} في المحول الذاتي أقل من القدرة التي ينقلها والقدرة الظاهرية المحسوبة في الجزء المشترك من ملف المحول الذاتي شكل 210 تساوي:

$$S_2 = E_2(I_2 - I_1) = E_2 I_2 \left(1 - \frac{w_2}{w_1}\right)$$

أما القدرة الظاهرية المحسوبة للجزء المتبقي من الملف فتساوي:

$$S_1 = (E_1 - E_2)I_1 = E_1 I_1 \left(1 - \frac{w_2}{w_1}\right)$$

وبما أننا نعتبر التقريب:

$$V_1 I_1 \approx V_2 I_2$$

بالتالي:

$$S_1 = S_2 = S_{AT}$$

وبما أن القدرة المحسوبة لكل من لفائف الكحول العادي تكون:

$$S_T = E_1 I_1 \approx E_2 I_2$$

فإن النسبة بين القدرة المحسوبة للمحول الذاتي والقدرة المحسوبة للمحول العادي عند تساوي القدرة التي ينقلها كلا المحولين تكون:

$$\frac{S_{AT}}{S_T} = 1 - \frac{w_2}{w_1}$$

وكلما كانت W_2 لقرب إلى W_1 كلما كان استعمال المحول الذاتي أكثر فائدة.

وتتضاءل هذه الميزة مع زيادة نسبة التحويل، حيث يبرز الدور الذي يلعبه الاتصال الكهربائي بين دائرتي الجهد العالي والجهد المنخفض.

الفصــل السابع

تيار الاندفاع في محولات القدرة

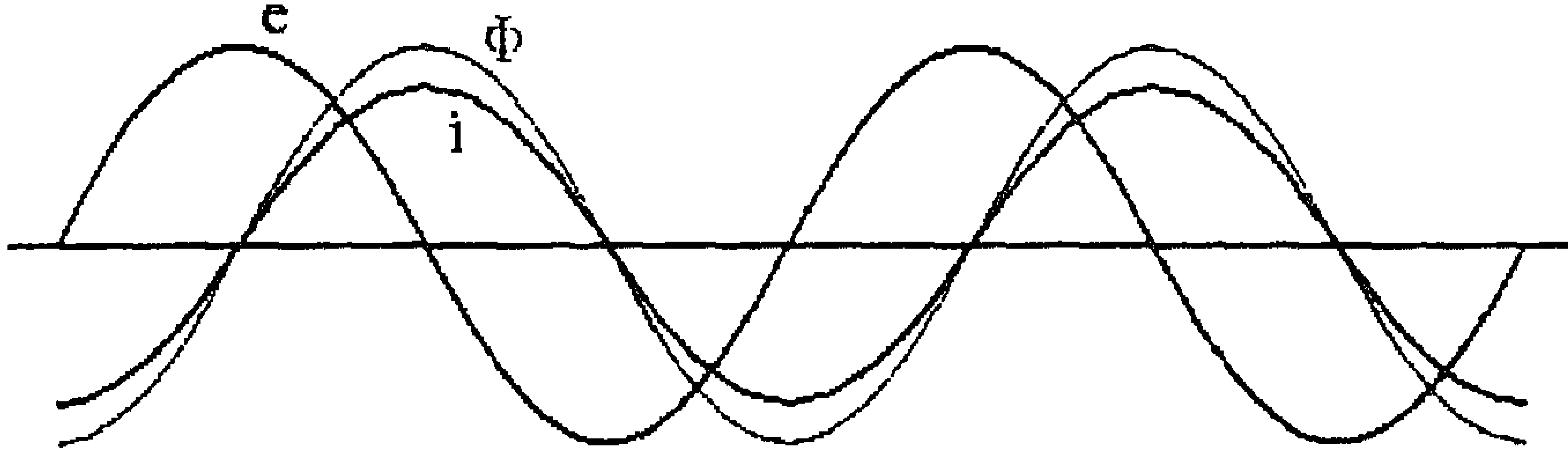
الفصل السابع
تيار الاندفاع في محولات القدرة
وخصائصه وتأثيره على تصميم أجهزة الوقاية

تيار الاندفاع **Inrush current**

عندما يوصل المحول في البداية بمصدر التيار المتردد من الجهد ، يمكن أن تكون هناك طفرة كبيرة من التيار خلال الملف الابتدائي وتسمى تيار الاندفاع. هذه هي مشابهة لتيار الاندفاع في المحرك الكهربائي والذي يحدث مفاجئة عند بدأت التوصيل إلى مصدر للطاقة ، على الرغم من أن تيار الاندفاع في المحول يتسبب عن ظاهرة مختلفة.

ونحن نعلم أن معدل التغير في التدفق اللحظي للفيض في المحول يتناسب مع انخفاض الجهد اللحظي عبر الملف الابتدائي. أو ، كما ذكر من قبل ، فإن شكل موجة الجهد هو مشتق من شكل موجة تدفق الفيض ، و شكل الموجة الفيض هو ناتج عن تكامل شكل موجة الجهد. في التشغيل المستمر للمحول ، هذه الموجات تكون مرحلة في الطور بزاوية قدرها 90^o. وحيث أن التدفق (ϕ) يتناسب مع القوة الدافعة المغناطيسية Magnetomotive force MMF في القلب المغناطيسي ، و القوة الدافعة المغناطيسية يتناسب مع التيار في الملفات ، سوف تكون شكل موجة التيار لها نفس الطور مع شكل موجة الفيض المغناطيسي ، والمتخلفة على حد سواء عن شكل موجة الجهد بزاوية 90^o :

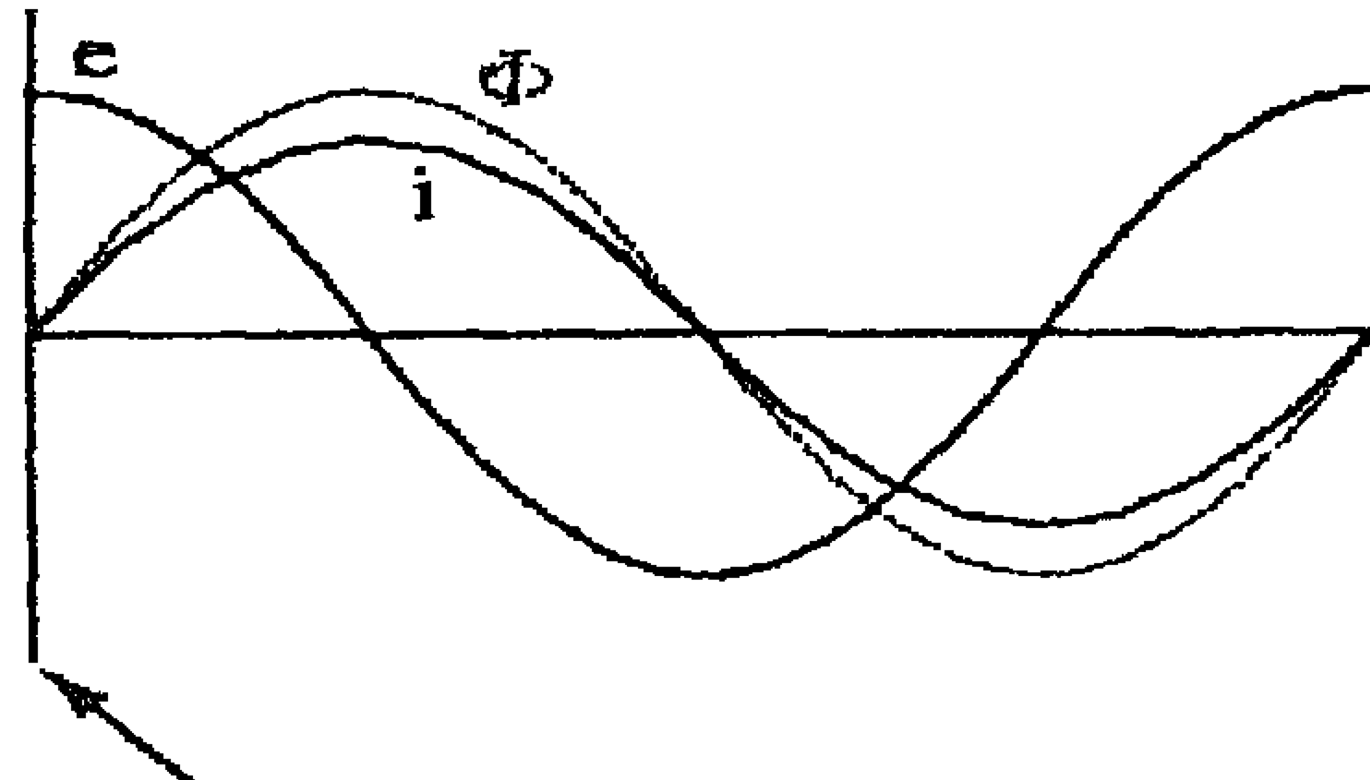
e = voltage
Φ = magnetic flux
i = coil current



شكل (7-1) موجة التيار مع شكل موجة الفيض المغناطيسي ، و موجة الجهد

ولنفترض أن الملف الأولي للمحول تم توصيله فجـأة إلـى مـصدر الجهـد المتردد في اللحظة والوقت الذي يكون فيه الجهد الآني في قيمـة ذروة ايجابيـة. وحتى يتسنى للمحول خلق انخفاض جهد معاكس ليتوازن ضد مـصدر الجهـد ، وتدفق مغناطيسي ذو زيادة سريعة في القيمة يجب أن يتولد. والنتيجة هي أن يزيد التيار في الملفات بسرعة ، ولكن في الواقع ليس بسرعة أكبر مما يحدث في ظـل الظروف العادية :

e = voltage
Φ = magnetic flux
i = coil current



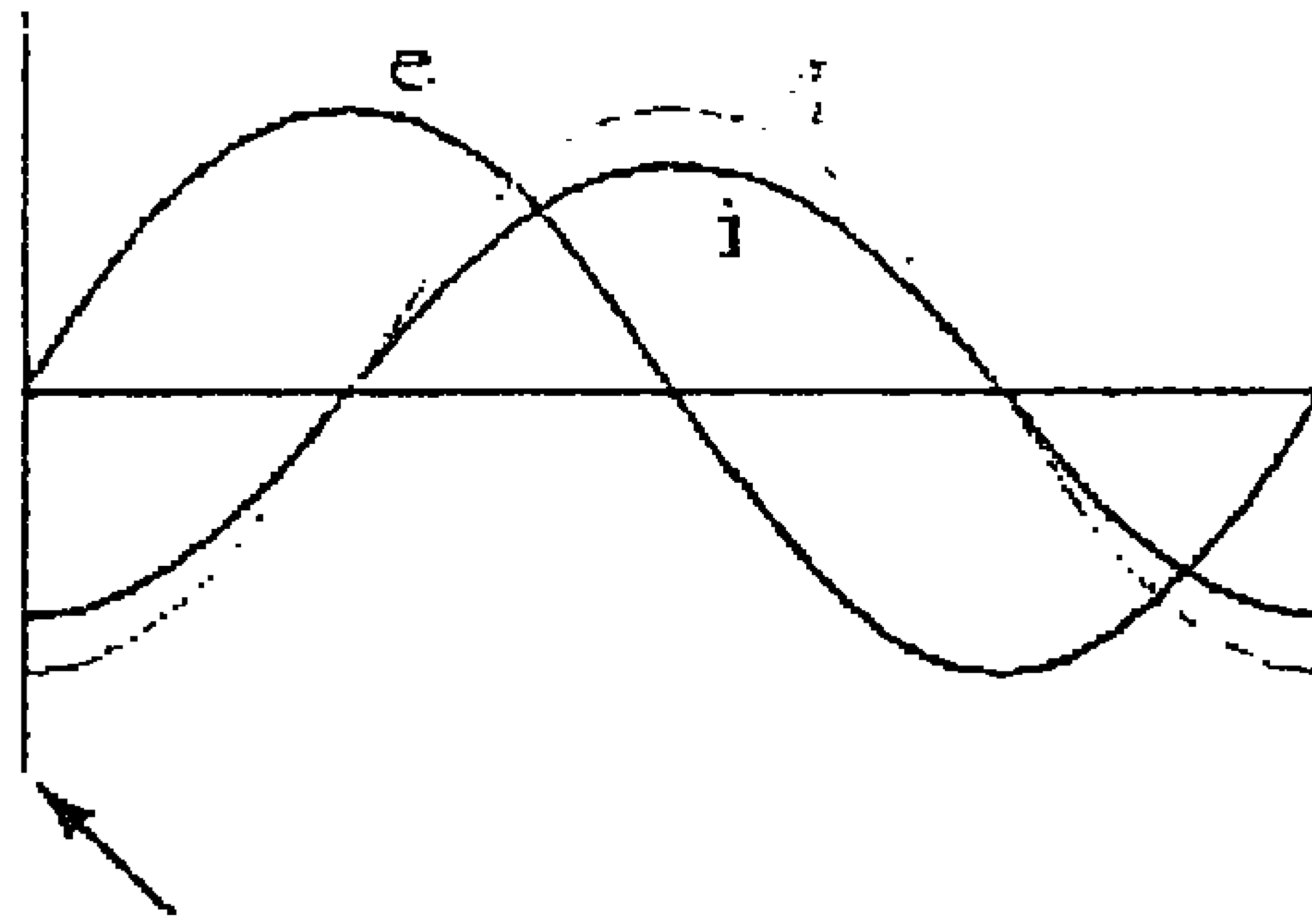
Instant in time when transformer
is connected to AC voltage source.

شكل (7-2) شكل موجة التيار والجهد لحظة توصيل المحول للمصدر

يبدأ كل من الفيض والتيار في الملف من الصفر وتبني إلى قيم ذروتها خلال التشغيل المستمر. وبالتالي ، لا توجد "فورة" أو "اندفاع" أو تيار في هذا السيناريو.

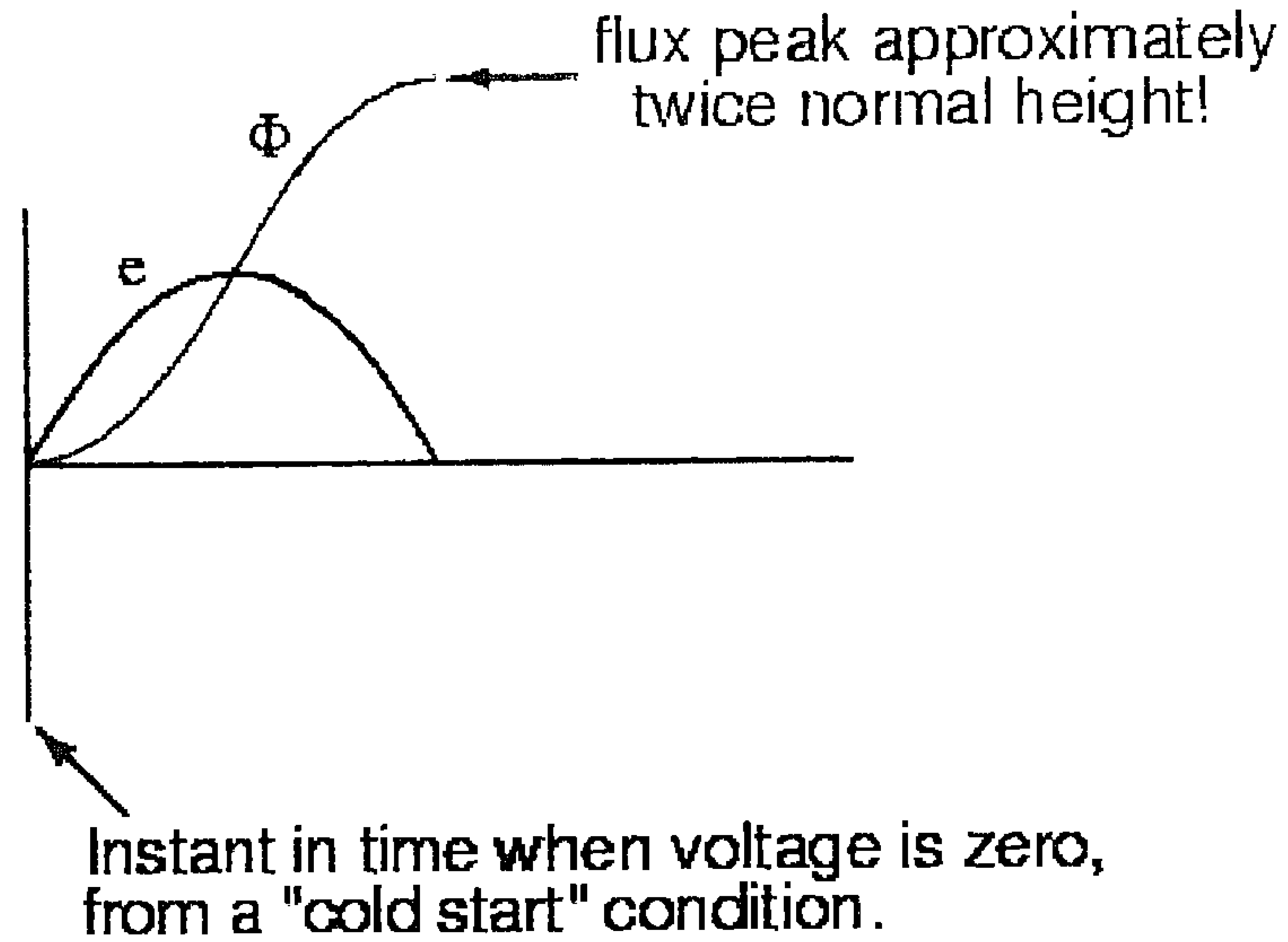
وبدلا من ذلك، دعونا ننظر ماذا يحدث إذا تم توصيل المحول إلى مصدر الجهد بالضبط في لحظة معينة من الوقت عندما يكون الجهد اللحظي عند مستوى الصفر. وخلال التشغيل المتواصل (عندما يتم إمداد المحول بالطاقة لفترة من الزمن) ، وهذه هي النقطة من الوقت التي يكون فيها كل من الفيض والتيار في عند نقطة القيمة السالبة القصوى ، والتي يكون فيها معدل التغير يساوي الصفر ($d\Phi/dt = 0$ and $di/dt = 0$). بمجرد أن يصل الجهد إلى الذروة الموجبة ، تصل منحنيات موجات الفيض و التيار إلى أقصى معدلات ايجابية للتغير لها ، ومتجهة إلى أعلى لتصل إلى قممها الايجابية على النحو الذي ينحدر فيه الجهد إلى مستوى الصفر :

e = voltage
Φ = magnetic flux
i = coil current



شكل (7-3) شكل موجة التيار والجهد عندما يكون الجهد يساوي صفر أثناء التشغيل

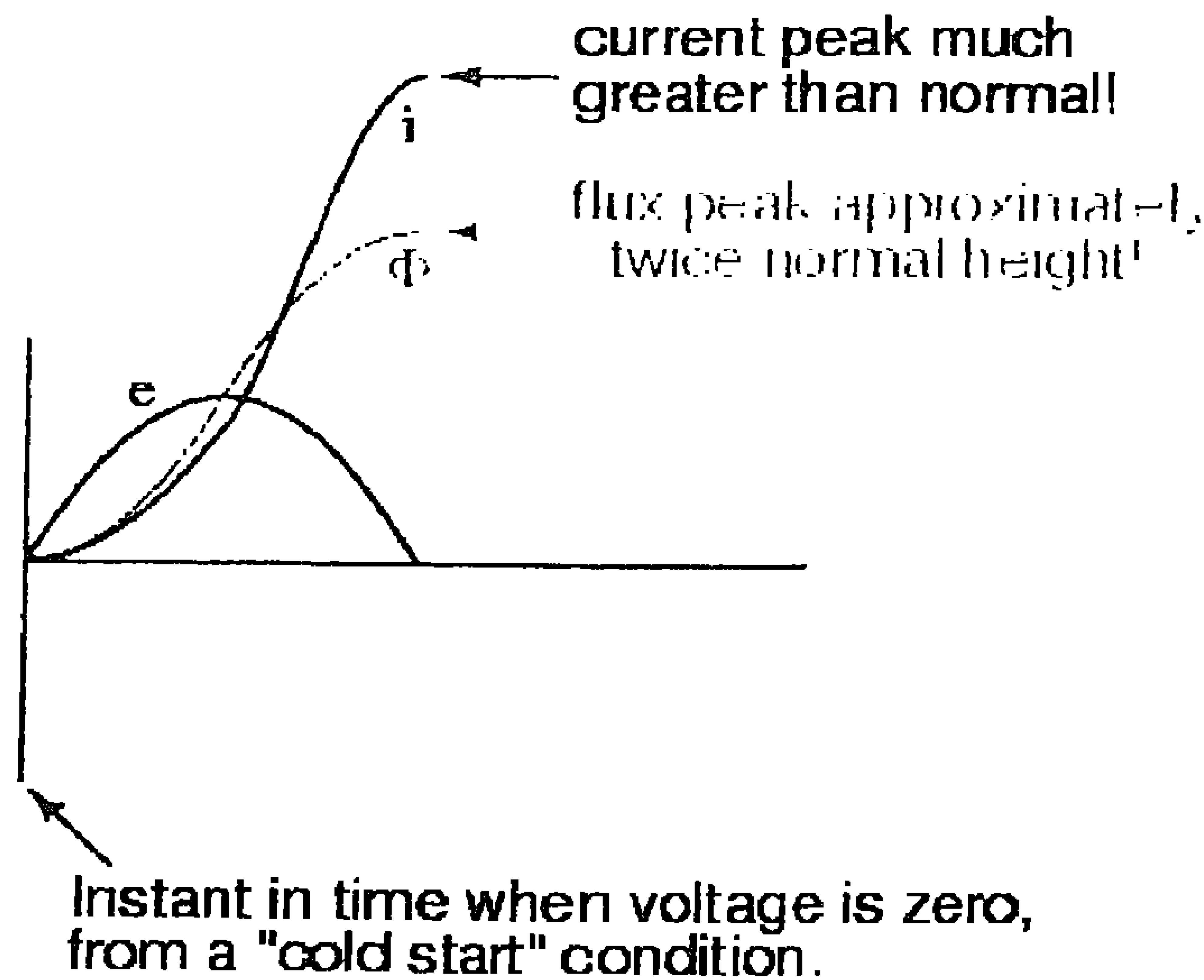
يوجد اختلاف كبير ، مع ذلك ، بين وضع التشغيل المستمر و ظروف البـــدء المفاجئ المفترضة في هذا السيناريو : خلال التشغيل المستمر ، مستويات الفـــيض و التيار تكون في قيم الذروة السالبة عندما كان الجهد في نقطـــة الـــصفر ؛ فـــي المحول الذي كان متوقفا ، كلا من الفيض المغناطيسي والتيار ينبغي أن يبدأ فـــي نقطة الصفر. وعندما يزداد الفيض المغناطيسي نتيجة لارتفاع قيمة الجهد، وسيزيد من الصفر صعودا، وليس من الظروف السالبة سابقا (ممغنط) عادة في المحولات التي تعرضت لتعمل بالطاقة لفترة معينة. ومن ثم ، في المحول الذي يبـــدأ للتـــو ، سوف يصل الفيض إلى حوالي ضعف مقدار الذروة العادي لأنها "يدمج" المنطقـــة الواقعة تحت منحنى الجهد الموجة خلال النصف **الأول** من الدورة :



شكل (7-4) شكل موجة الفيض والجهد عندما يكون الجهد يساوي صفر من لحظة البدء البارد (الناعم)

في المحول المثالي ، فان تيار التمغنط (المغنطة) سيرتفع إلى حوالي ضـــعف قيمة الذروة العادي أيضا ، لتوليد القوة الدافعة المغناطيسية اللازمة لإنشاء فـــيض أعلى من المعتاد. ومع ذلك ، فان معظم المحولات ليست مصممة بما فيه الكفايـــة مع وجود هامش بين ذروة الفيض الطبيعي و حدود الإشباع لتجنب الإشـــباع فـــي

مثل هذه الحالة ، ولذلك فان القلب الحديدي من المؤكد أن يتشبع خلال هذا النصف الأول من دورة الجهد. وخلال التشبع ، تلزم كمية غير متناسبة من القوة الدافعة المغناطيسية اللازمة لتوليد فيض مغناطيسي. وهذا يعني أن التيار اللازم لتوليد القوة الدافعة المغناطيسية في القلب الحديدي ، وسوف يكون غير متناسب و يتجاوز بسهولة ضعف القيمة العادية للذروة :



شكل (7-5) شكل موجة الفيض والتيار والجهد عندما يكون الجهد يساوي صفر من لحظة البدء الناعم

هذه هي الآلية التي تسبب تيار الاندفاع inrush current في الملف الرئيسي للمحول عند توصيل التيار الكهربائي إلى مصدر تيار متردد. كما ترون ، فان حجم تيار الاندفاع يعتمد بشدة على الوقت بالضبط الذي يتم فيه التوصيل الكهربائي إلى المصدر. إذا كان المحول قد يستحوذ على بعض ما تبقى من المغناطيسية في لحظة التوصيل إلى المصدر ، قد يكون الاندفاع أكثر خطرا. ولهذا السبب، تصمم أجهزة الحماية للمحول ضد زيادة التيار وعادة ما تكون من "بطيئة الاستجابة" لهذا النوع من التيار ، وذلك لتحمل تيار الاندفاع هذا دون فتح الدائرة.

خصائص محولات القدرة وتأثيرها على مرحلات الحماية

وهناك مجموعة متنوعة من مرحلات الوقاية باستخدام تقنيات القياس المختلفة لتوفير حماية آمنة وموثوق بها للمحول. ويشمل هذا المرحلات الكهروميكانيكيـــة ، مرحلات الحالة الصلبة والمرحلات العددية أو الرقمية داخـــل كـــل مجموعـــة ، وتوجد عدة خوارزميات. التقدم المحرز وتكنولوجيا المحولات والتصميم على مدى الثلاثة عقود ، قد تغيرت خصائص المحول و تيار الاندفاع ، وعرض فـــي كثيـــر من الأحيان أمور غير صحيحة في عمليات مرحلات النغمة التوافقية القائمة خلال الإثارة energization.

عرض المواضيع التي يتعين أن تشمل ما يلي :

- مقارنة بين القديم والحديث أكثر دقـــة حـــسابات ذروة القـــيم ، وقيمـــة التوافقية الثانية ، وغيرها من معايير تيار الاندفاع Inrush Current
- تصميم ونظام المعايير التي تؤثر في حجم وشكل موجة تيار الاندفاع، على سبيل المثال تصميم الملفات والتوصيلات ، المواد الأساسية للقلـــب المغناطيسي ، والشكل الهندسي للقلب المغناطيسي ، وسعة قصر الدائرة للشبكة ، الخ.
- تأثير تصميم المحول وعناصر الأداء ومعالم التطـــورات الجديـــدة فـــي تكنولوجيا المحول على مقادير وطبيعة تيار الاندفاع.
- تأثير محول التيار على الـــسرعة ، والانتقائيـــة ، والموثوقيـــة لوقايـــة المحول .

مقدمة

تيار الاندفاع هو شكل من أشكال زيادة التيار التي تحدث أثناء إثارة أو توصيل الجهد للمحول energization وهو تيار عابر كبير و ينجم عن تشبع جزءا من دورة المغناطيسية للقلب المغناطيسي للمحول. وفي محولات القدرة ، تكون قيمة تيار الاندفاع في البداية من 2 إلى 5 أضعاف معدل تيار الحمل ولكن تنقص ببطء حسب تأثير تثبيط التذبذب بسبب مقاومة الملفات ومقاومة المغنطة للمحول winding and magnetizing resistances وكذلك المعاوقة الكهربائية للنظام المتصل به وأخيرا حتى يصل التيار إلى قيمته العادية. هذه العملية عادة ما تتطلب عدة دقائق. ونتيجة لذلك ، تيار الاندفاع يمكن أن يكون يشتبه انه تيار قصر والمحول يستبعد من الخدمة عن طريق الخطأ من قبل أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار أو الوقاية المسافية.

يؤثر تصميم المحول ومعالم تركيب المحطة على القيمة الحقيقية لتيار الاندفاع إلى حد كبير. ولذلك فانه من المهم أن يتم حساب قيمة ومعالم تيار الاندفاع بدقة حتى يتسنى لأجهزة الوقاية من التمييز بين قصر الدائرة inrush وتيار الاندفاع. والحساب السليم للحد الأدنى ٪ من التوافقية الثانية من تيار الاندفاع هو عنصر في غاية الأهمية لهذه التفرقة. أيضا ، في السنوات الأخيرة ، كانت هناك تحسينات في تصميم المحول التي في الواقع قد تؤدي إلى تأثير كبير على حجم الظاهرة ، أشكال الموجة ، و التوافقية الثانية 2nd harmonic من تيار الاندفاع.

حساب تيار الاندفاع

المعادلة المبسطة وكثيرا ما تستخدم لحساب قيمة الذروة للدورة الأولى من تيار الاندفاع Inrush Current بالأمبير كما يلي :

$$I_{pk} = \frac{\sqrt{2}U}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}} \cdot \frac{2B_N - B_R - B_S}{B_N}$$

المعادلة [1]

حيث :

U = الجهد المطبق ، فولت

L = المحاثة التبادلية الهوائية للقلب المغناطيسي للمحول ، هنري

R = إجمالي مقاومة لفات المحول ، أوم

B_R = كثافة تدفق الفيض لقلب المحول ، تسلا tesla

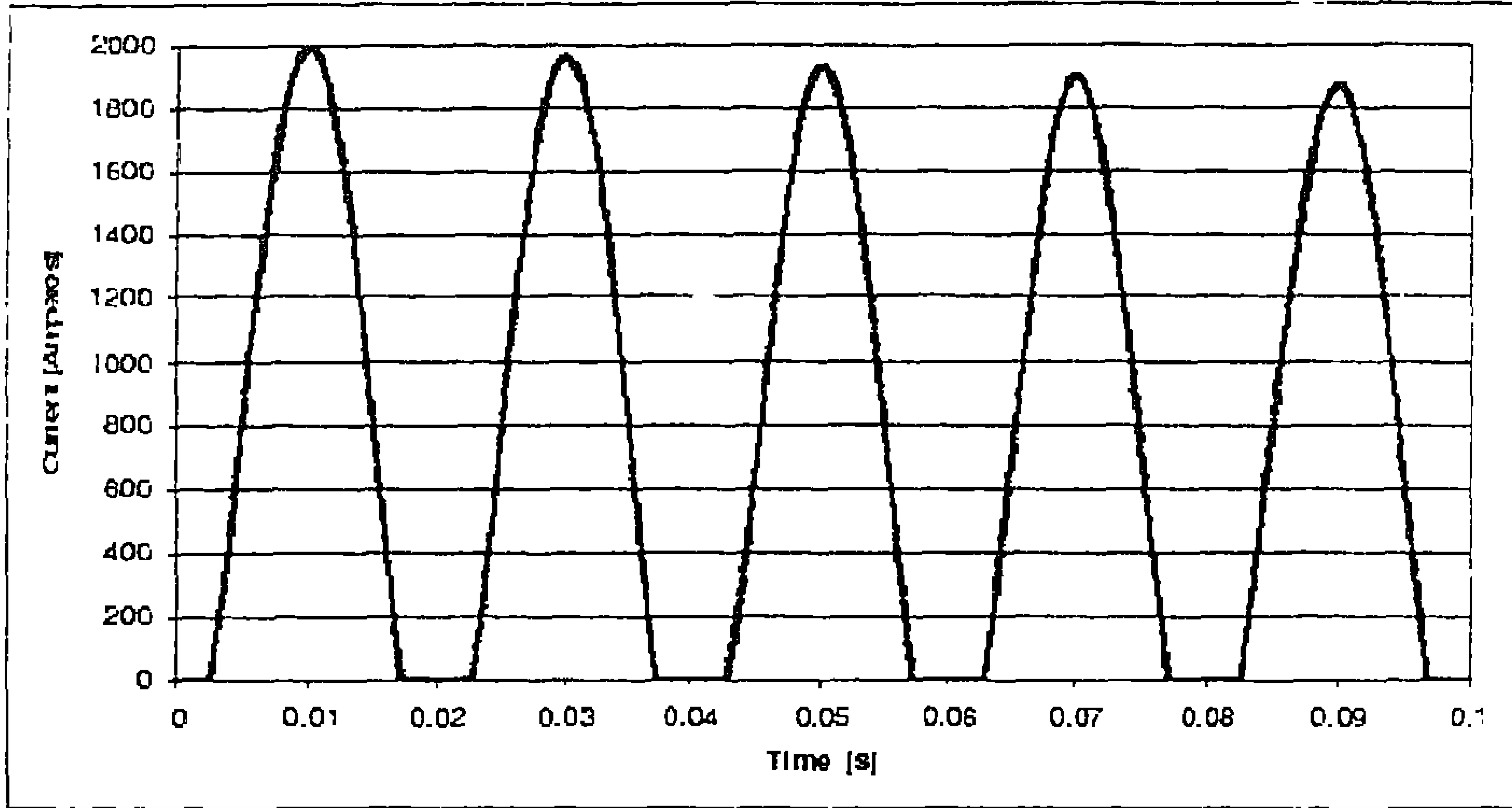
B_S = كثافة فيض التشبع لمادة قلب المحول ، تسلا tesla

B_N= كثافة الفيض المقننة لقلب المحول ، تسلا tesla

وفي الواقع ، فان المعادلة أعلاه لا تعطى من الدقة بما يكفـــي نظـــرا لأن عددا من معالم المحولات و النظام ، لا تدخل في الحساب ، والتي تؤثر على حجم تيار الاندفاع إلى حد كبير . أيضا ، هذه المعادلة لا يقدم معلومات عن التذبـــذبات اللاحقة طوال مدة تيار الاندفاع العابرة. وهناك طريقة حـــسابات محـــسنة لتيـــار الاندفاع قد وضعت بواسطة شركة ABB، والتي تنص على قيمة تيار الانـــدفاع مقابل الوقت ، ومن ثم - يمكن أن يتم تحديد شكل موجة تيـــار الانـــدفاع بأســـره لاحقا. كما يتضمن الحساب بعض المعايير و العناصر التالية للمحول وللنظام التي يمكن أن يكون لها تأثير بمقدار 60 ٪ على مقادير تيار الاندفاع:

- المحاثة التبادلية من الدائرة للقلب الهوائي تضبط وفقا لطبيعة ظاهرة تيار الاندفاع "العابرة.
- المعاوقة الكهربائية وقدرة دائرة القصر للنظام.
- هندسة القلب المغناطيسي وتكوينات الملفات و الوصلات ، علـــى ســـبيل المثال ، 1 وجه مقابل 3 أوجه ، وتوصيلة اللفات نجمـــة مقابـــل دلتـــا ، التوصيلات المؤرضة مقابل الغير مؤرضة ، الخ.

في الشكل (7-6) أدناه يبين 5 دورات الأولى لشكل موجة تيار الاندفاع - محول قدرة كبير محسوبا باستخدام طريقة حساب شركة ABB.



الشكل (7-6) شكل موجة تيار الاندفاع المحسوبة لمحول قدرة كبير 50 هرتز

وعند عمل مقارنة بين مقدار الدورة الأولى من تيار الاندفاع وفقا للحسابات القديمة في صيغة المعادلة [1] أعلاه مقابل المحسوبة على حساب ABB ، بما فيها المعايير المذكورة أعلاه ، نجد أن المقادير الذروة الأولى لتيار الاندفاع أقل بكثير مقارنة بالقيم المحسوبة باستخدام الصيغة القديمة المستخدمة من جانب الصناعة.

3- تأثير عناصر تصميم المحول على التوافقية الثانية لتيار الاندفاع

3-1 اثر تصميم كثافة الفيض

الحد الأدنى لنسبة التوافقية الثانية / الذروة تيار الاندفاع يتناقص مع التعريف كما هو مبين في الشكل 2 أدناه.

إن المحولات الحديثة تعمل عموما في كثافة فيض أعلى القيم حيث أن الصلب المحبب الموجه grain oriented steels تستخدم أكثر وأكثر. ومن ثم ينتج أن

في المحولات الحديثة يقل الحد الأدنى للنسبة المئوية للتوافقية الثانية / نـسبة ذروة تيار الاندفاع.

2-3 تأثير المواد المستخدمة في صناعة القلب المغناطيسي

ميزة أخرى جديدة للمحولات الحديثة هو استخدام نوع من الصلب يحتـوي المواد الكهربائية Hi-B electrical steel type materials التي لها كثافة فـيض تـشبع أعلي ، ولها جزء خطي من منحني المغنطة اكبر ، وأقـل القـيم كثافـة الفـيض المغناطيسي المتبقي بالمقارنة مع نوع المواد ذات الحبوب الموجهة Regular Grain Oriented (RGO) type materials. وهكذا ، فإن هذه المواد الحبوب التوجه مـصاحبة بنسبة مرتفعة من الحد الأدنى للتوافقية الثانية / الذروة تيار الاندفاع لنفس كثافـة الفيض ، Hi-B -و المواد المكررة لها على نحو قدر اكبـر مـن الحـد الأدنـى التوافقية الثانية ٪ الى نسبة ذروة تيار الاندفاع من المواد RGO.

3-3 تأثير نوع الوصلة المشتركة للقلب

حتى عقد أو عقدين من الزمن ، ومن الشائع استخدام الوصلة المشتركة فـي قلب المحول من نوع the non step-lap type joint ، غير أن اسـتخدام المحـولات الحديثة الوصلة المشتركة من نوع وصلة خطوة- لفة. ونظرا لارتفـاع المعاوقـة المغناطيسية لوصلات القلب المغناطيسي ، فان مستويات كثافة الفيض المغناطيسية لقلب المحول هي اقل بكثير من ذلك من مواد القلب نفـسها. الوصـلة المـشتركة بوصفها بدون خطوة- لفة وقد تردد اكبر من خطوة اللفة المشتركة ، ويترتب على ذلك أن أساسية مع اللفة - خطوة مشتركة سيكون لها اقل بكثير من الحد الأدنـى من نسبة التوافقية الثانية / النسبة ذروة تيار الاندفاع من تلك التي لها القلب لـيس من نوع وصلة خطوة - لفة.

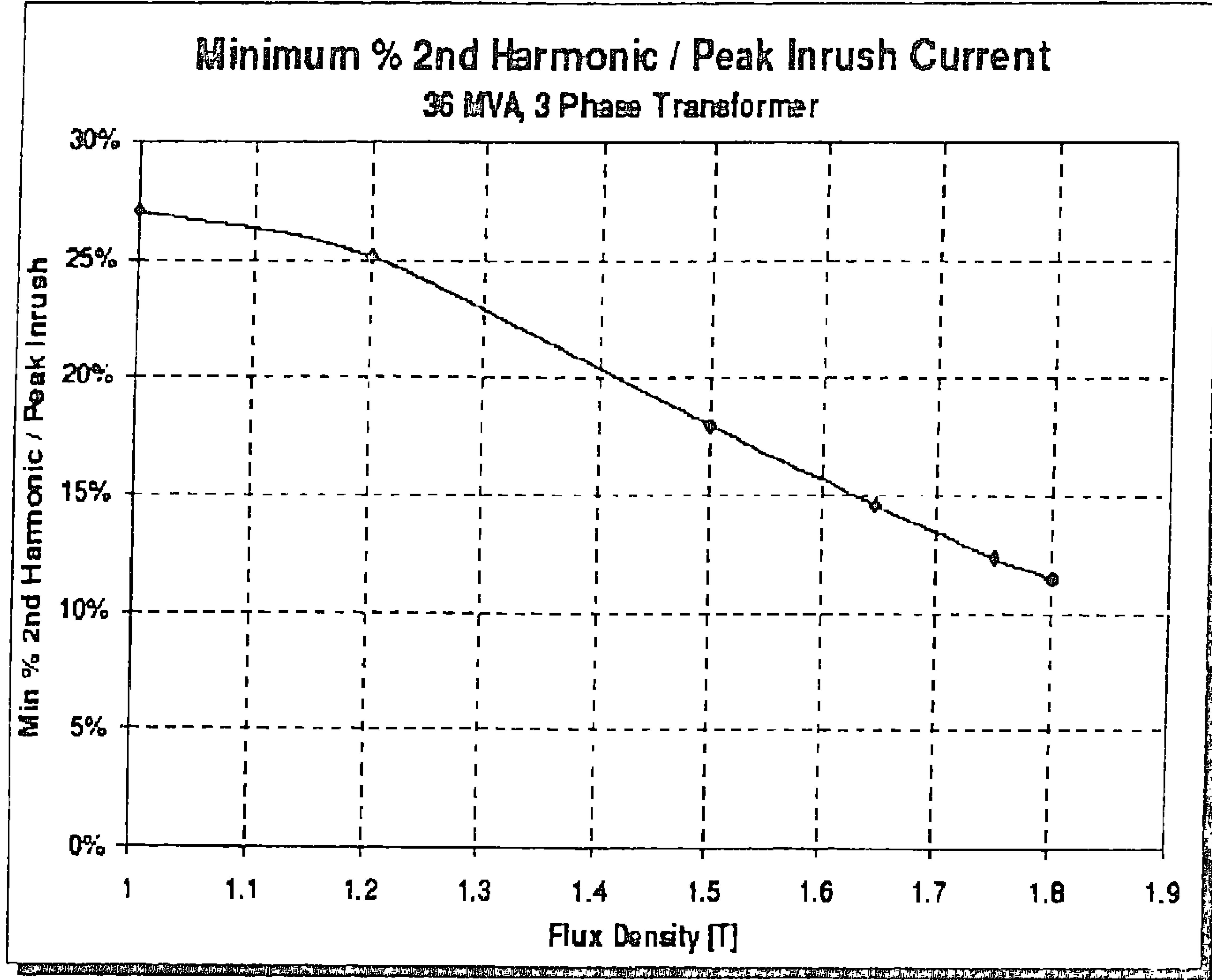


Figure 2 - % Minimum 2nd Harmonic / Peak Inrush Current Ratio versus Rated Flux Density

الشكل (7-7) النسبة المئوية للحد الأدنى النغمة التوافقية الثانية / نسبة ذروة تيار الاندفاع مقابل كثافة التدفق المقننة

4- تأثير عناصر تصميم المحول على المرحلات

4-1 الحماية التفاضلية للمحول

أي زيادة مفاجئة للجهد بين طرفي محول القدرة سيؤدي إلى تيار عابر ويكون اكبر من معدل تيار المحول. هذا التيار العابر عموما يوصف بتيار الاندفاع وعادة ما تسببها :

_ إثارة محول القدرة Energization (توصيل الجهد بين طرفي المحول).

_ رجوع الجهد بعد تطهير دائرة قصر ثقيلة في نظام القدرة (recovery inrush) .
_ توصيل محولات الطاقة أخرى موازية (تيار اندفاع متعـــاطف sympathetic inrush) .
_ فقد التزامن مع مولد موصل .

4.1.1 الكشف عن تيار الاندفاع بواسطة تحليل التوافقيات للتيار التفاضـــلي اللحظي

وبالرجوع إلى الشكل 2 أعلاه ، يمكن ملاحظة أن الحـــد الأدنـــى لمحتـــوى التوافقية الثانية هي في حدود 20 ٪ -- 25 ٪ في حالة منخفض كثافـــة الفـــيض. وأجهزة حماية المحول التي تستخدم التوافقية الثانية كمعيار لها قيم ضبط في حدود 15 ٪ - 20 ٪. هذا كان صحيحا لتصميم المحولات التـــي تعمـــل فـــي كثافـــة منخفضة. إن محتوى التوافقية الثانية لتصاميم المحولات الحديثة هي اقل من ذلك بكثير ، في حدود 5 -- 10 ٪ ، كما هو مبين في الشكل 2 والبـــاب 3 أعـــلاه. وهذا سوف يؤثر على أداء المرحلات (أجهزة الوقاية) التـــي تـــستخدم إعـــدادات التوافقية الثانية لمجموعة تتراوح بين 15-20 ٪. و في ظل ظروف أســـوأ حالـــة worst condition ، فان 15-20 ٪ من مرحلات التوافقية الثانية ربما لا تعمل تقييد صحيح خلال تشغيل محولات القدرة التي لها درجة كثافة فيض عاليـــة (1.5 -- 1.75 تسلا). للمحولات التي لها أعلى معدل كثافة فـــيض ، فانـــه يوصـــي بـــأن تستخدم مرحلات لها ضبط التوافقية الثانية بقيم صغيرة (5-12 ٪) .

4.1.2 الكشف عن تيار الاندفاع بواســـطة تحليـــل شـــكل الموجـــة للتيـــار التفاضلي اللحظي

ويمكن أن يلاحظ من الشكل 1 من شكل موجة تيار الاندفاع أن هنـــاك فتـــرة من الزمن في كل دورة لنظام القدرة التي يكون فيها تيارات المغنطـــة منخفـــضة جدا. من هذا، يمكن التعرف على حالة الاندفاع من انخفاض معدل التغيير الفوري

للفرق في التيار بحيث تكون موجودة لمدة لا تقل عن ربع دورة نظام القوى. وهذا المعيار يمكن أن يعبر عنه رياضيا بما يلي :

$$\left|\frac{\partial I_{diff_a}}{\partial t}\right| \leq C_1 \qquad [2]$$

حيث أن I_{diff-a} هو الفارق في تيار الوجه أ ، t هو الوقت ، C / هو ثابت في خوارزمية جهاز الوقاية.

وقد أظهرت الممارسة أن على الرغم من استخدام طريقة كبح جماح / عرقلة التوافقية الثانية قد تحول دون الفصل الخاطئ خلال ظروف الاندفاع ، في بعض الأحيان قد تزيد وقت إزالة الخطأ للأعطال الثقيلة الداخلية التي يليها تشبع محولات التيار. وعلى الجانب الايجابي ، فان طريقة كبح جماح التوافقية الثانية سوف يزيد من الأمان للمرحل التفاضلي في حالة حدوث أعطال خارجية مع تشبع محول التيار CT.

4.1.3 الكشف عن تيار الاندفاع بواسطة التقنيات التكيفية

الجمع بين نسبة التوافقية الثانية / تيار الاندفاع الأساسي ("I_2/I_1" وطرق تحليل شكل الموجة ، يتيح لمصمم أجهزة الوقاية الاستفادة من مميزات كلتا الطريقتين ، وفي الوقت نفسه تجنب السلبيات. هناك طريقتين اثنين للجمع بين هذه الأساليب هي :

الطريقة الأولى مشروطة (مستحسن) -- في هذا الطور من العمل ، يستخدم هذين المعيارين على النحو التالي :

_ استخدام كل من "I_2/I_1 " ومعايير شكل الموجة الأولى للكشف عن تيار الاندفاع .

_ تعطيل معيار "I_2/I_1 " بعد دقيقة واحدة بعد تنشيط محول القدرة لتفادي الأعطال الداخلية الجسيمة لفترة طويلة وترك معيار شكل الموجة وحده للعناية بتيار الاندفاع التعاطفي والانتعاشي sympathetic and recovery inrush

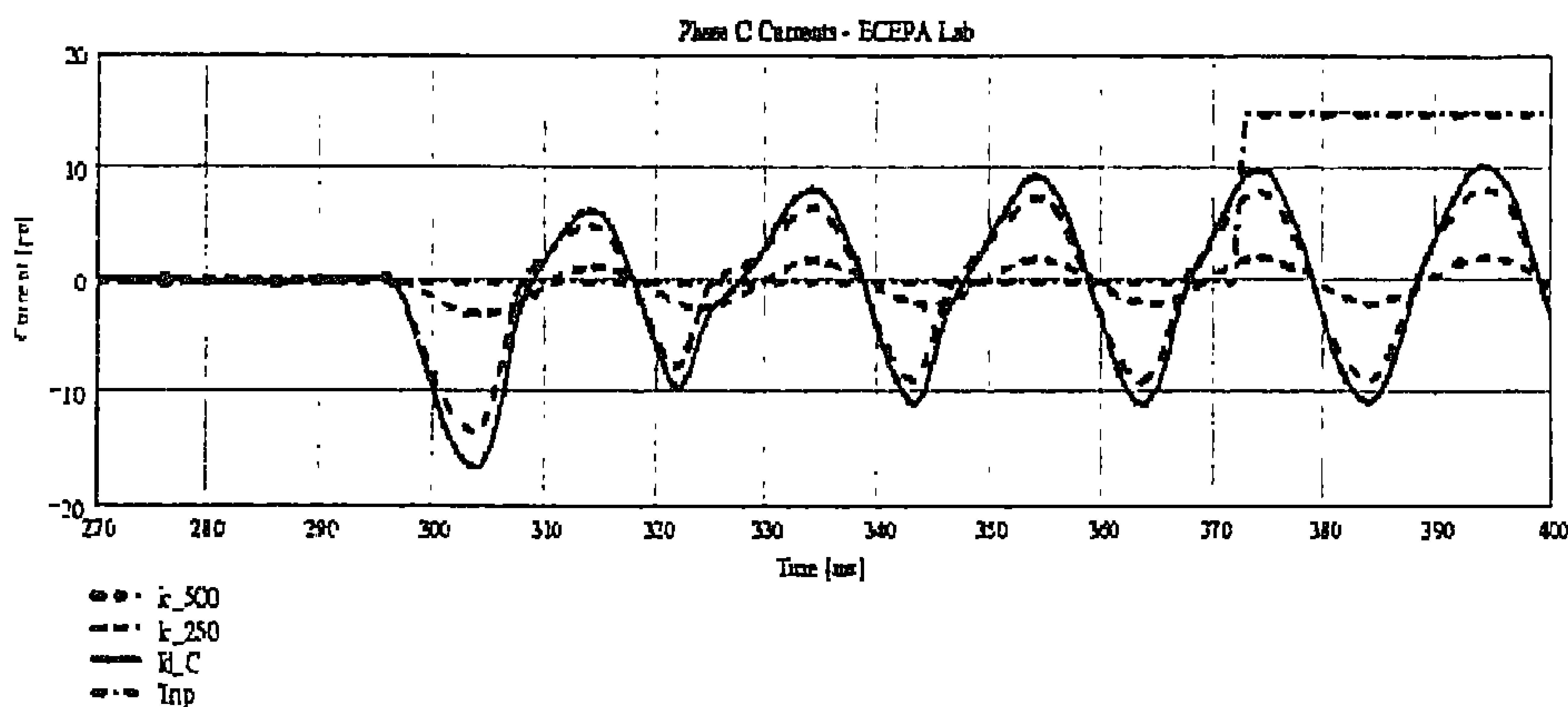
_ تمكين مؤقتا "I_2/I_1" لمدة 6 ثوان عندما يتم الكشف عن الخطأ الخـــارجي الثقيل للحصول على امن إضافي للأعطال الخارجية .

الطريقة الثانية تستخدم بشكل دائم (النهج التقليدي) :

وهذا الخيار على غرار المعيار المعتاد "I_2/I_1". والطريقة "I_2/I_1" ناشـــطة في جميع الأوقات ، وبالإضافة إلى ذلك ، فان معيار شكل الموجة تعمل في وقـــت واحد على التوازي. وهذا ليس له فوائد من حيث الـــسرعة والأعطـــال الداخليـــة الثقيلة.

4.1.4 الأعطال الداخلية التي تليها تشبع محولات التيار

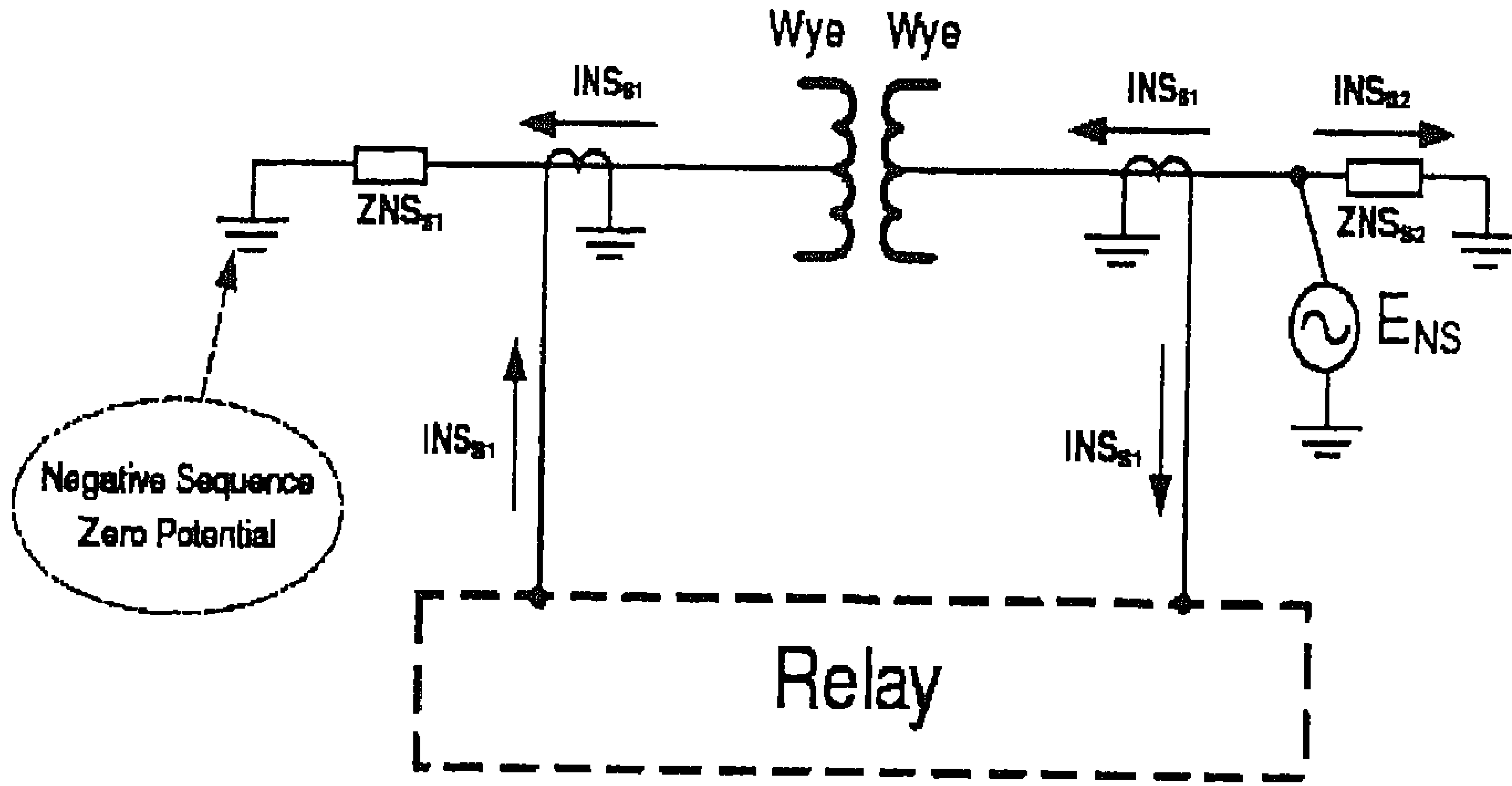
بالنسبة لأعطال المحول الثقيلة الداخلية المتبوعة بتشبع محـــول التيـــار CT، تيار الثانوي المشوه في محول التيار CT قد يحتوي على مـــستوى عـــالي مـــن التوافقية الثانية. ونتيجة لذلك ، تأخر تشغيل المنضبط الحماية التفاضـــلية ســـيحدث كما هو مبين في الشكل 3 أدناه.



الشكل (7-8) فصل المرحلة 87T بسبب كبح التوافقية الثانية

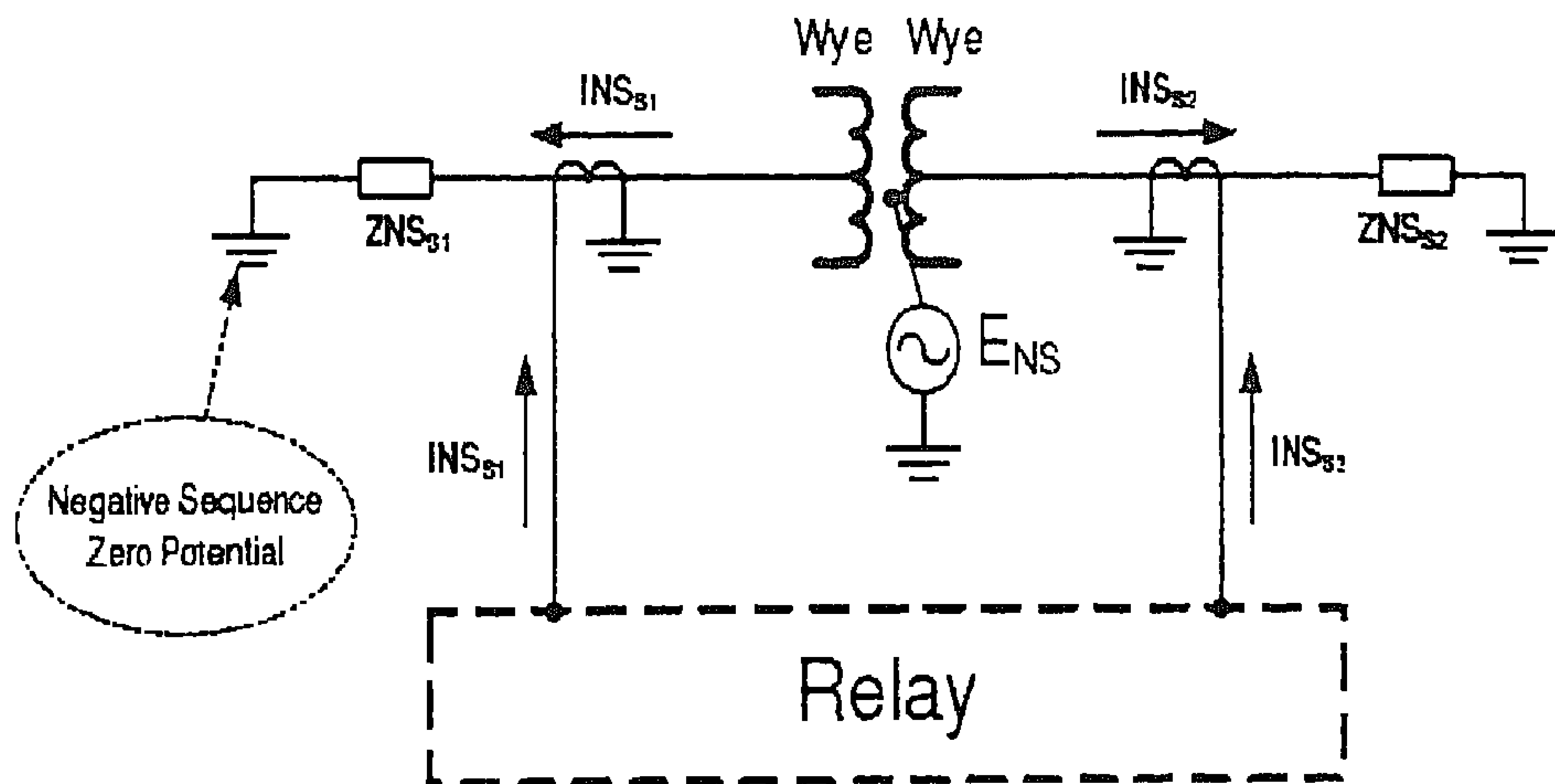
بالنسبة للأعطال الخارجية ، فان مصدر التسلسل السلبي الوهمي سيكون موجـــودا خارج منطقة الحماية التفاضلية في نقطة الخطأ. وهكذا ، فـــان التيـــارات ســـالبة التسلسل ستدخل محول القدرة من جانب العطل ، وتخرج من الجانـــب المقابـــل ،

التحويل المناسب. التيارات السالبة التسلسل على كل من جانبي محول القدرة سيكون لها عكس الاتجاهات. وبعبارة أخرى ، مميز الخطأ الداخلي / الخارجي ترى هذه التيارات على أنها ازاحة طور نسبية بالضبط 180 درجة كهربائية ، كما هو مبين في الشكل 4.



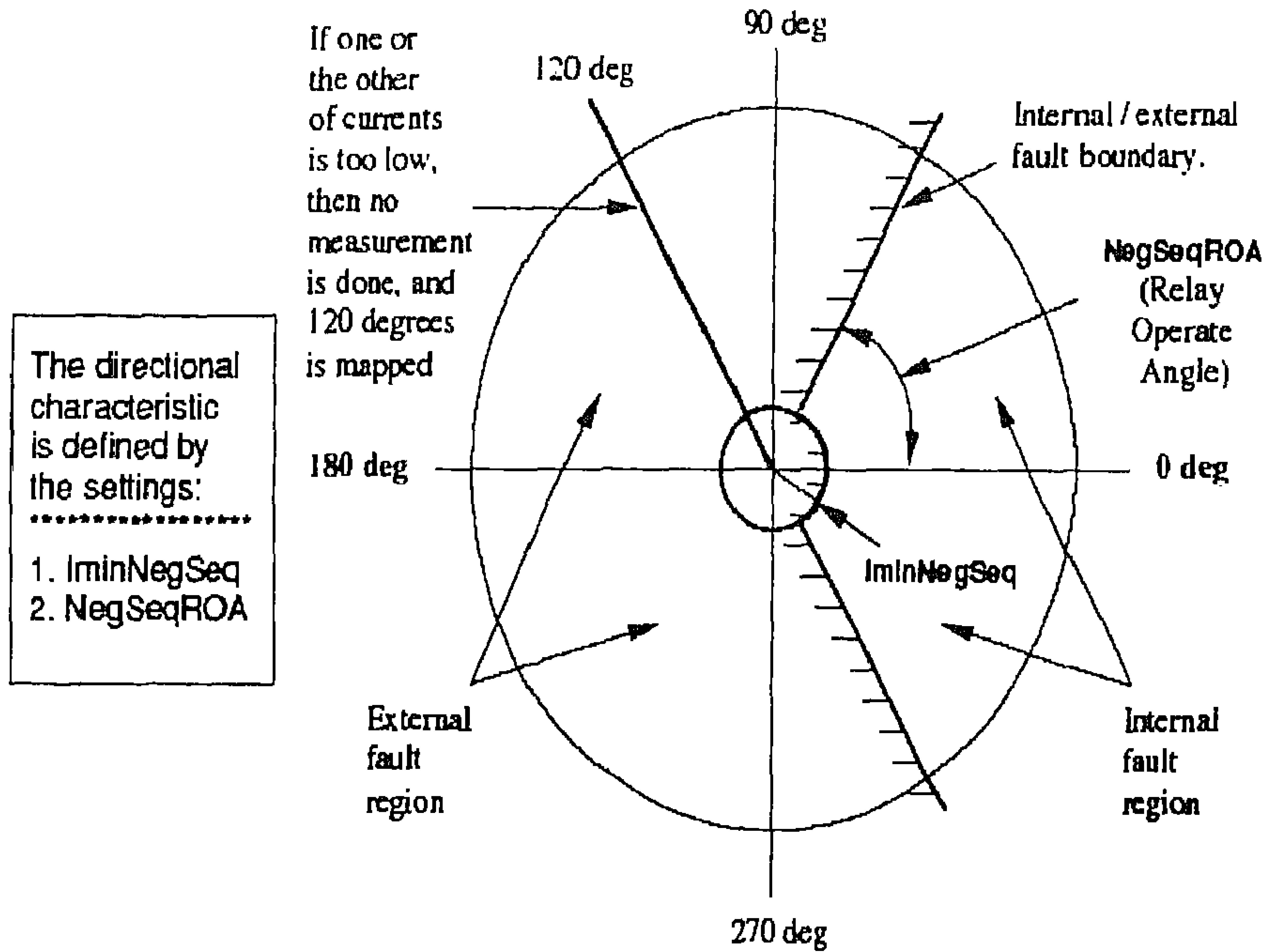
الشكل (7-9) تدفق تيارات سلبية التسلسل لعطل خارجي في محول القدرة

في حالة الخطأ الداخلي (مع مصدر تسلسل سلبية وهميه داخل محول القدرة المراد حمايته) ، سوف تتدفق التيارات السالبة التسلسل للخروج من محول القدرة المعطل من كلا الجانبين. سيكون للتيارات سالبة التسلسل على كل من جانبي محول الطاقة لها نفس الاتجاه. وبعبارة أخرى ، المميز الخطأ الداخلي / الخارجي يرى هذه التيارات على أنها لها حيود الطور النسبي صفر درجة كهربائية ، كما هو مبين في الشكل 5. في الواقع ، في حالة الخطأ الداخلي ، قد يكون هناك بعض الحيود الصغير بين هذين التيارين نظرا لاحتمال اختلاف زوايا المعاوقة الكهربائية السالبة التسلسل من الدائرة المكافئة للمصدر على جانبي محول القدرة.



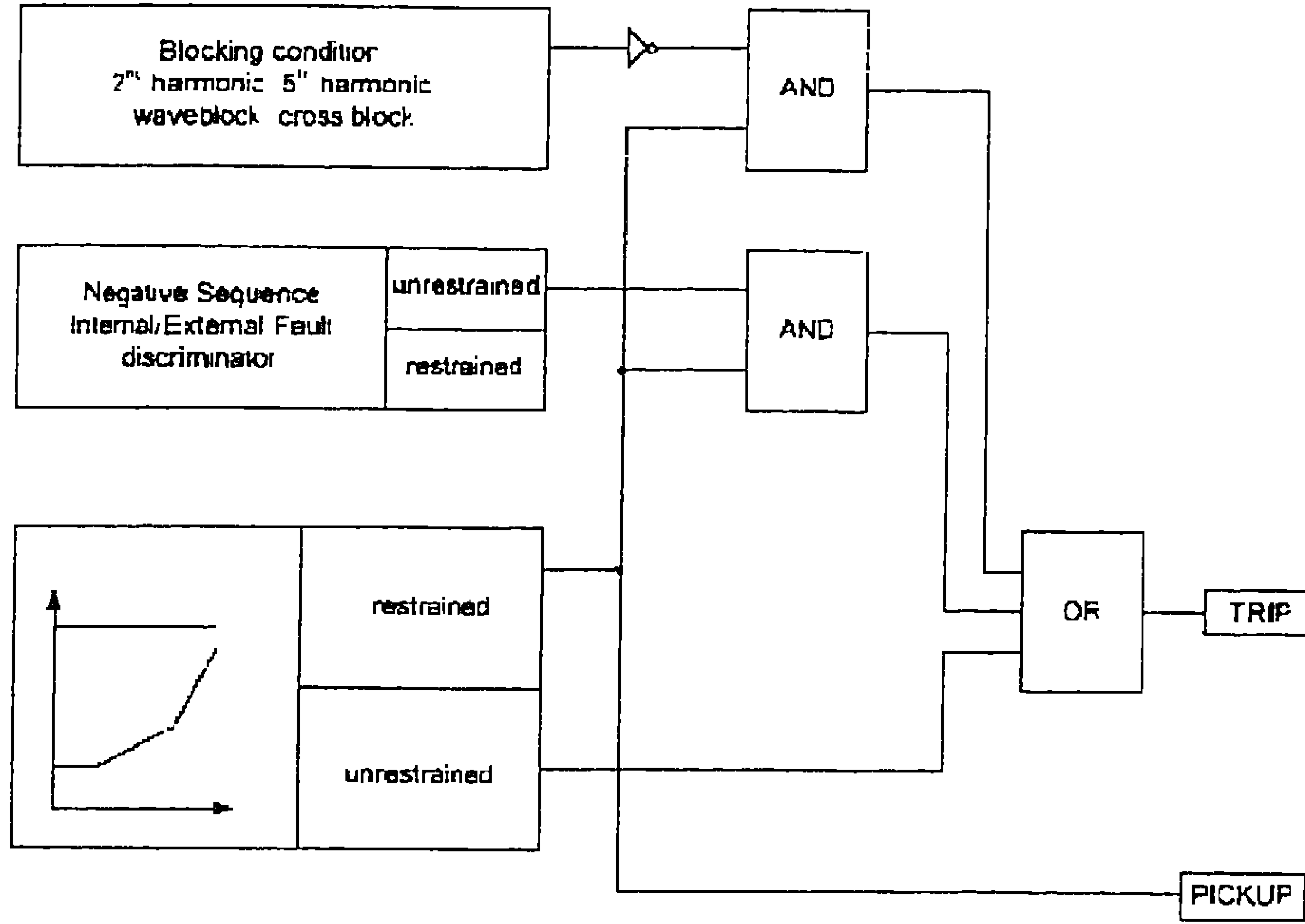
الشكل (7-10) تدفق تيارات سلبية لتسلسل القدرة الداخلية للمحول خطأ

تشغيله يبنى على أساس الوضع النسبي للمتجهين phasors اللذان يمـــثلان تيار الجهد العالي والجهد المنخفض السالب التسلسل . وهو يؤدي عمليا للمقارنـــة في اتجاه معين بين هذين المتجهين. أولا ، متجه الجهد المنخفض يوضـــع علـــى طول الخط صفر درجة. وبعد ذلك ، يمكن تحديد الموقع النـــسبي لمتجـــه الجهـــد المرتفع . مجمل الخصائص الاتجاهية لمميز الأعطال الداخلية / الخارجية كما هو مبين في الشكل 6.



الشكل (7-11) خصائص التشغيل لمميز الأعطال الداخلية / الخارجية

باستخدام مميز الخطأ (عطل) التسلسل السلبي الداخلي / الخارجي، وخاصية عرقلة التوافقية الثانية يمكن تجاوزها وأن تكون أسرع في تشغيل الحماية التفاضلية للمحول سوف تتحقق كما هو مبين في الشكل 7.



الشكل (7-12) شكل تخطيطي يوضح مميز خطأ التسلسل السلبي

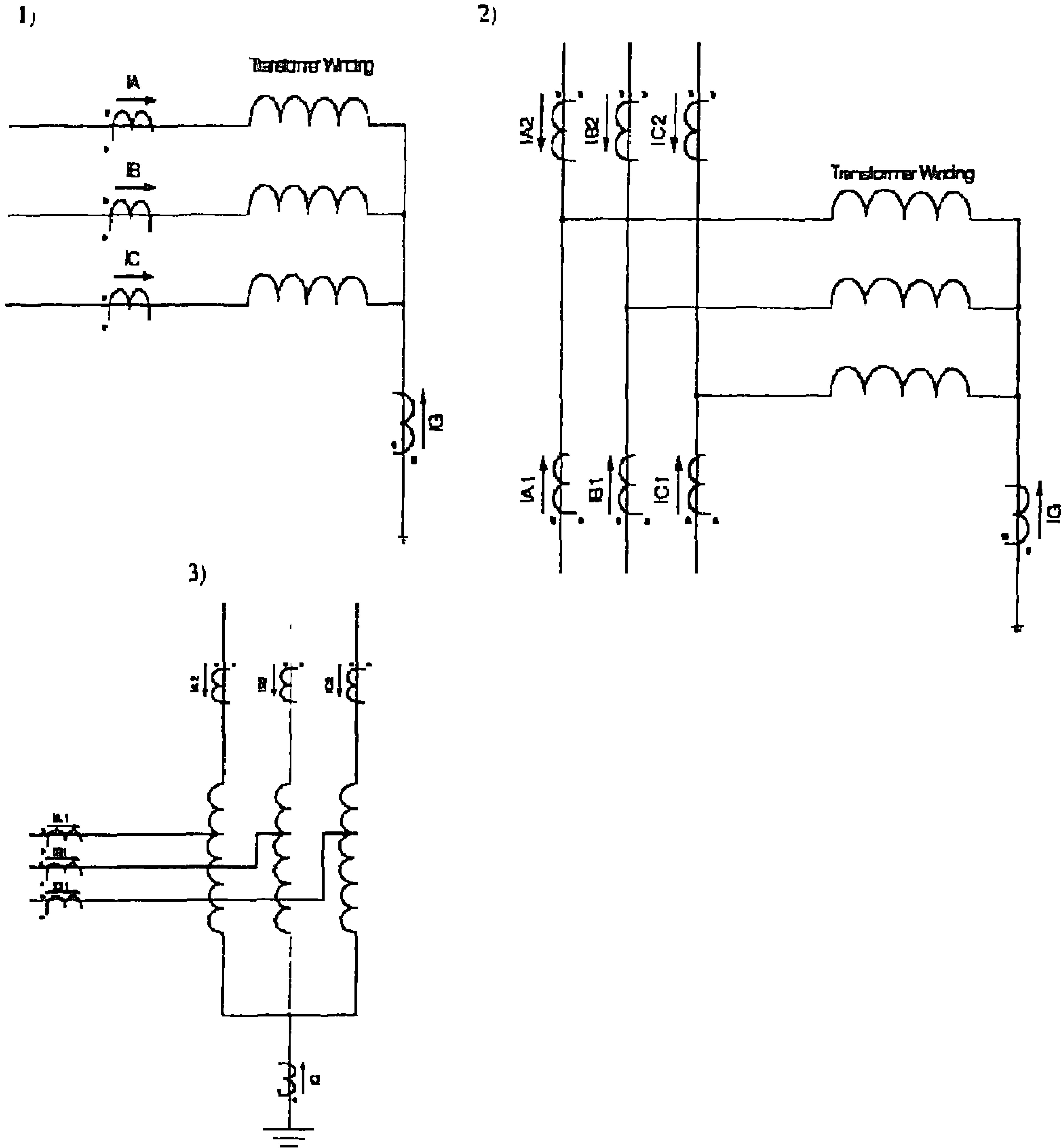
4-2 حماية الخطأ الأرضي المقتصرة

انهيار العزل بين موصل احد الأوجه والأرض المؤرض على نحو فعـــال أو ارضي ذو معاوقة كهربائية منخفضة في منظومة القدرة ينتج عنه تيار خطأ كبير.

إنهيار العزل بين لفات المحول والقلب أو مستودع الزيت قد يؤدي إلى تيـــار خطأ كبير الذي يتسبب بدوره في إلحاق أضرار جسيمة على اللفات وقلب المحول.

ارتفاع ضغط الغاز قد يؤدي الي تفجير تنك المحول.

ويمكن الحصول على الكشف السريع والحساس عن الأعطال في لفات محول القدرة في التأريض المباشر أو من خلال معاوقة الكهربائية منخفـــضة للـــشبكات الكهربائية بواسطة حماية خطأ الأرضي المقيدة. والشرط الوحيد هـــو ان يوصـــل محول القدرة بالأرضي من خلال الطرف المحايد neutral point (في حال اللفـــات المرتبطة نجمة Y) أو عن طريق محول تأريض منفـــصل (فـــي حالـــة اللفـــات المرتبطة دلتا).



الشكل(7-13) بعض التطبيقات لتقييد الخطأ الأرضي

إن وقاية الخطأ الأرضي المقيدة هي حماية تفاضلية مع نوع من التوازن بين تيار المحايد (من الجانب المحايد – لمحول التيار) و التيار المتبقي (3 مرات من تيار التسلسل الصفري من محول التيار لأحد الأوجه). لأن هذه الوقاية تقوم على أساس التيارات التسلسل الصفري، والتي لا توجد من الناحية النظرية إلا في حالة وجود خطأ للأرضي، حماية الخطأ الأرضي المقيدة يمكن أن تكون حساسة للغاية ، بغض النظر عن حجم تيار الحمل. وإنها أسرع حماية يمكن أن تكون للفات محول القدرة. وتجدر الإشارة إلى أن الحساسية العالية والسرعة العالية لهذه

الوقاية تجعلها تميل إلى أن تكون غير مستقرة. ومن ثم يجب اتخاذ تدابير خاصـــة لجعلها آمنة وعرقلة العملية في حالة الأعطال الثقيلـــة خـــلال وجـــه – وجـــه أو الأعطال الخارجية.

مع الإشارة إلى الشكل 8 ، المناطق الخاضعة لوقاية الخطأ الأرضي المقيـــدة يمكن أن تطبق على اللفات الموصلة – نجمة Y من محولات القدرة في التطبيقات التالية :

1. قاطع وحيد
2. القواطع المتعددة أو المزدوجة
3. المحول الذاتي

والأمر لا يقتصر على القصر الأرضي الخارجي التي ينبغي أن تكون وقايـــة الخطأ الأرضي المقيدة ثابتة ضده فحسب ، بل أيضا الأعطال الثقيلة وجه إلى وجه ، وليس للأرضي. هذه الأخطاء قد تؤدي أيضا إلى نـــشوء تيـــارات زائفـــة مـــن التسلسل الصفري بسبب تشبع محول التيار CT Saturation. ، ومع ذلك ، فـــان هذه الأعطال لا تنتج تيار محايد ، وهكذا يمكن القضاء عليها باعتبارهـــا مـــصدرا للخطر ، على الأقل أثناء وقوع الخطأ.

وكتدبير إضافي ضد التشغيل الخاطئ (غير المرغوب فيـــه) ، يـــتم التحقـــق اتجاهيا بين تيار المحايد (الإشارة) والقيمة المحسوبة للتيار المتبقي فـــي عـــازلات اختراق المحول. مثل هذا التحقق الاتجاهي يضمن استقرار وقاية الخطأ الأرضـــي المقيدة خلال التيار الاندفاعي لمحول القدرة أيضا.

4-3 الوقاية ضد زيادة التيار الأرضي

محولات الطاقة يمكن أن يكون لها تيار اندفاع كبير عندما يجري تنشيطه. وهذا التيار الاندفاعي يمكن أن يكون له عناصر تيار متبقية. هذه الظاهرة هي نتيجة للتشبع المغناطيسي لقلب المحول خلال أجزاء من الدورة.

وهناك خطر وهو ان تيار الاندفاع سيثير التيار المتبقي residual current والذي يصل إلى مستوى يتجاوز تيار الالتقاط لحماية زيادة التيار المتبقي. ويكون لتيار الاندفاع محتوى كبير من التوافقية الثانية في نقطة التعادل المحايدة neutral point. ويمكن استخدام هذا الأمر لتجنب التشغيل غير المرغوب فيه من حماية الخطأ الأرضي. ولذلك فإن حماية التسرب الأرضي لديها إمكانية كبح جماح التوافقية الثانية إذا كان مستوى تيار هذه التوافقية يصل إلى قيمة أعلى من نسبة إعدادات التيار الأساسي. إن مواد القلب للمحولات الجديدة اقل تأثير بكثير على تيار التوافقية الثانية في حجم تيار نقطة المحايد ، ثم تيارات الأوجه.

5. الاستنتاجات

الصيغة القديمة لحساب ذروة تيار الاندفاع لمحولات القدرة تعطي مقدار مرتين ما أن تحسب باستخدام المعادلة الأكثر دقة المستخدمة في الآونة الأخيرة.

هذا الحساب يعتبر عناصر مهمة للمحولات و معالم النظام والتي لها تأثير كبير على شكل موجة ومقادير تيار الاندفاع. التنبؤ بدقة ذروة تيار الاندفاع ينبغي أن تكون مهمة للغاية في تصميم وتحديد إعدادات أجهزة الوقاية المستخدمة مع محول الطاقة. كذلك، فان حساب تيار الاندفاع يوفر دالة تيار الاندفاع مقابل الوقت طوال المدة العابرة وكذلك حجم التوافقية الثانية من تيار الاندفاع . وهذا هي معلمة تستخدم اليوم للتمييز بين قصر دائرة وتيار الاندفاع ، وذلك لمنع المحول من إزالته من الخدمة عك طريق الخطأ من قبل أجهزة وقاية زيادة التيار أو الوقاية التفاضلية.

عناصر تيار الاندفاع (الذروة ، التوافقية الثانية ، ومـــدتها) مـــن محـــولات الطاقة اليوم تختلف عن تلك النماذج القديمة نتيجة لاستخدام القلب من الفـــولاذ ذو الحبوب الموجهة ، فان الوصلة المشتركة من نوع الخطوة-اللفة ، وارتفاع درجـــة التصميم لقيم التوجيه للقلب المغناطيسي . هذا ينبغي أن يكون لها تأثير كبير على الاختيار المناسب لأجهزة الوقاية المحول.

6. Reference:

[1] Elmore W A, 1995, “Protective Relaying Theory and Applications”, ABB Power T&D

[2] RET670 Technical reference manual, 1MRK 504 048-UEN

[3] Electrical Transmission and Distribution reference Book, Westinghouse Electric Cooperation

[4] F.Mekic, Z. Gajic, S. Ganesan “Adaptive Features on Numerical Differential Relays”, (29th Annual Western Protective relay Conference, Spokane, WA, October 22-24, 2002)

[5] Z. Gajic, B. Hillstrom, F.Mekic “HV Shunt Reactor Secrets for Protection Engineer ”, (30th Annual Western Protective relay Conference, Spokane, WA, October 21-23, 2003)

[6] Z. Gajic, B. Hillstrom, I. Brncic, F.Mekic, I. Ivankovic “Sensitive Turn-to-Turn Fault Protection ”, (32th Annual Western Protective relay Conference, Spokane, WA, October 21-23, 2005).

الفصــل الثامن

التوافقيات وتأثيرها على المحولات

الفصل الثامن

التوافقيات وتأثيرها على المحولات

التوافقيات

هي مضاعفات من 50 هرتز من الجهد والتيار الأساسي. وتضاف هذه التوافقيات إلى الموجة الأساسية وتحدث تشويه لها. ويمكن أن تكون مضاعفات 2 ، 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 7 ، وما إلى ذلك ، من التردد الأساسي. فعلى سبيل المثال ، التوافقية الثالثة هي متناسق 3 مرات من 50 هرتز ، أو 150 هرتز والسادسة ومتآلف هو 6 مرات من 50 هرتز ، أو 300 هرتز. والشكل الموجي في الشكل رقم. 10-1 يبين مدى تشويه التوافقيات للموجة الأساسية. التوافقيات وعادة ما تأتي من الأجهزة غير الخطية. و الجهاز غير الخطي هو جهاز يرسم تيار غير جيبي nonsinusoidal عندما يتغذي من مصدر جهد على شكل منحنى جيبي. والأجهزة غير الخطية تشمل أفران القوس ، الأجهزة القابلة للتشبع مثل المحولات ، ومعدات الالكترونيات الصناعية مثل مغيرات السرعة للمحركات. نعم ، حتى المحولات تولد التوافقيات الثالثة.

أثر التوافقيات على المحولات

التوافقيات لها تأثير كبير على المحولات هو زيادة الخسائر والتسخين. وهي تؤدي إلى زيادة المفاقيد أو الخسائر في حالة التحميل وعدم التحميل على حد سواء.

التوافقيات تؤثر أيضا على الخسائر الأخرى الشاردة P_{OSL} في القلب المغناطيسي ، المشابك ، والأجزاء الهيكلية للمحول ، على الرغم من أن هذا العنصر سيكون صغيراً ومهملاً.

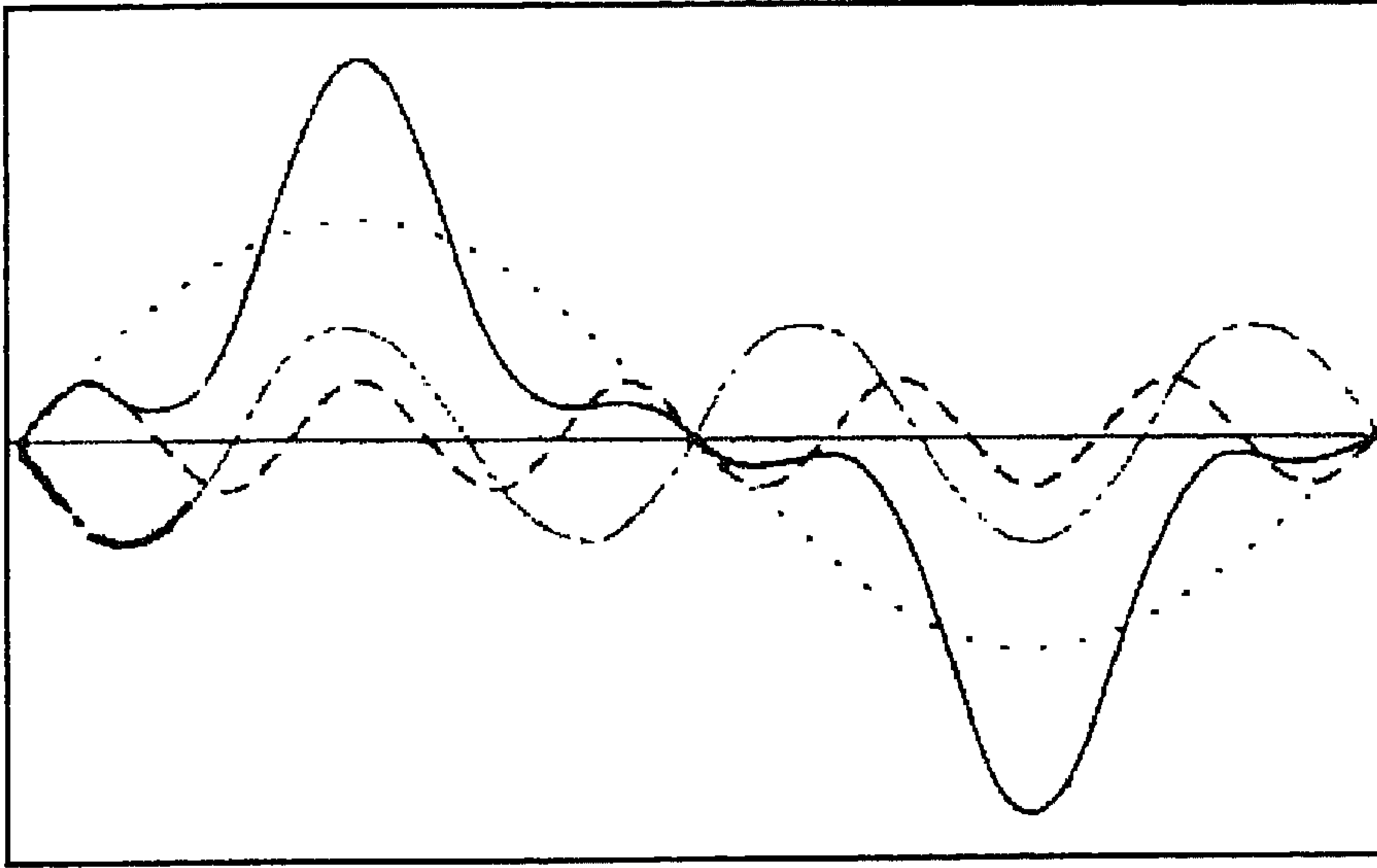
وإذا أهملت الخسائر الشاردة ، ثم يكون تيار الحمل لكل وحدة P_{TL} في إطار تيار التوافقيات، يمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية :

$$P_{TL} = \sum I_h^2 + P_{EC-R}\left[\sum_{k=1}^{k=h}(I_k h)^2\right] \qquad (8.1)$$

حيث أن P_{EC-R} هو معامل الفقد للتيار الدوامي في حالة الحمـل المقـنن للفـات المحول .

h = رتبة التوافقيات (1 ، 2 ، 3 ، 4 ، الخ)

I_h = تيار الحمل لكل وحدة عند رتبة التوافقية h



شكل (8.1) موجة التوافقيات المركبة

وبالإضافة إلى تأثير التوافقيات على خسائر التحميل وصفها فـي المؤسسـة الأمريكية الوطنية للمقاييس / 1986 = C57.110 ومعهـد مهندسـي الكهربـاء والإلكترونيات ، أن هناك زيادة في الخسائر الناجمة عـن الأثـر الجلـدي Skin Effect. عادة ، عندما يكون موصل في محول يحمل تيار 50 هرتز ، فان التيار يقتصر على المناطق الداخلية للموصل. وليست هذه هي الحال مع زيادة تـواتر أو تردد التوافقيات. وبدلا من ذلك ، زيادة تواتر التوافقيات ينتج عنه أن التيار يتـدفق على السطح للموصل. هذه الظواهر تدعى التأثير الجلدي وتسبب زيادة الخـسائر

وزيادة التسخين. والسبب في ذلك أن المقاومة على السطح للموصل اكبر من المقاومة داخل الموصل. ولذلك ، وكلما زاد تدفق التيار على السطح للموصل بسبب الأثر الجلدي ، كلما زادت خسائر مقاومة الموصل وزيادة التسخين. الخسائر الناجمة عن التأثير الجلدي كثيرا ما تسببها المتناسق الثالث أو التوافقية الثالثة (150 Hz) والتي تتدفق في الموصل المحايد.

التوافقيات تؤثر على حجم خسائر اللاحمل من خلال زيادة الخسائر التخلفية hesteresis . وهي تسبب هذا عن طريق زيادة كثافة الفيض المغناطيسي ومعدل التغير في المغنطة واللامغنطة للقلب المغناطيسي. وذلك لأن كثافة الفيض ومعدل التغير يتناسب مباشرة مع تردد الجهد المسلط أو المصدر الكهربائي. كلما زاد التردد ، كلما زادت كثافة الفيض وزاد معدل التغير. زيادة كثافة الفيض تؤدي إلى زيادة مقاومة المغنطة و الخسائر التخلفية Hesteresis Losses . زيادة معدل التغيرلمغنطة القلب الحديدي تؤدي الى زيادة الطاقة اللازمة لمغنطة القلب ويزيد أيضا من الخسائر التخلفية.

المعامل ك

هو عامل ثابت تم تعريفه لكي يؤخذ في الاعتبار تأثير التوافقيات على تحميل المحول و المفاقيد فيه. وهذا المعامل ليس مذكوراً في المؤسسة الأمريكية الوطنية للمقاييس / معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات ANSI/IEEE C57.110 - 1986. بيد أن المؤسسة الأمريكية الوطنية للمقاييس / معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات C57.110 - 1986 يوفر أساليب لحساب الخسائر والتيارات لتيار توافقي معين الذي هو أساس لتحديد قيمة المعامل ك. هذا المعيار يطبق مع المحولات المغمورة ، عامل كاف على النحو المستمد من هذا المعيار يطبق في نوع المحولات الجافة حتى الآن.

والغرض من هذه المعامل ك لتصنيف رتبة المحولات بالنسبة للتوافقيات ، والحد من خسائر التأثير الجلدي، وتقلل من إمكانية تشبع القلب الحديدي.

المحولات مع معامل ك لها مذكرة على اللوحات التي تحمل المواصفات تشير إلى أنها مصممة لتيار حمل غير جيبي Nonsinusoidal مع معامـــل ك معـــين. ك عامل يعرف بأنه نسبة من خسائر التيار الدوامي مقسوما على مربـــع توافقيـــات التيار ويمثل بالمعادلة التالية :

$$K = \frac{\Sigma\,(I_h h)^2}{\Sigma\,(h)^2} \qquad (8.2)$$

حيث I_h = تيار التوافقيات

h = قيمة التوافقية

وكما يتبين من هذه الصيغة ، ويتحدد هذا العامل K عن طريق جمع حاصل ضرب مربع كل من تيار التوافقية ورتبة التوافقية ويقسم على مجمـــوع مربـــع رتب التوافقيات. هذا المجموع مضروبا في خسائر التيار الدوامي للحصول على خسائر التيار الدوامي الزائدة الناجمة عن التوافقيات.

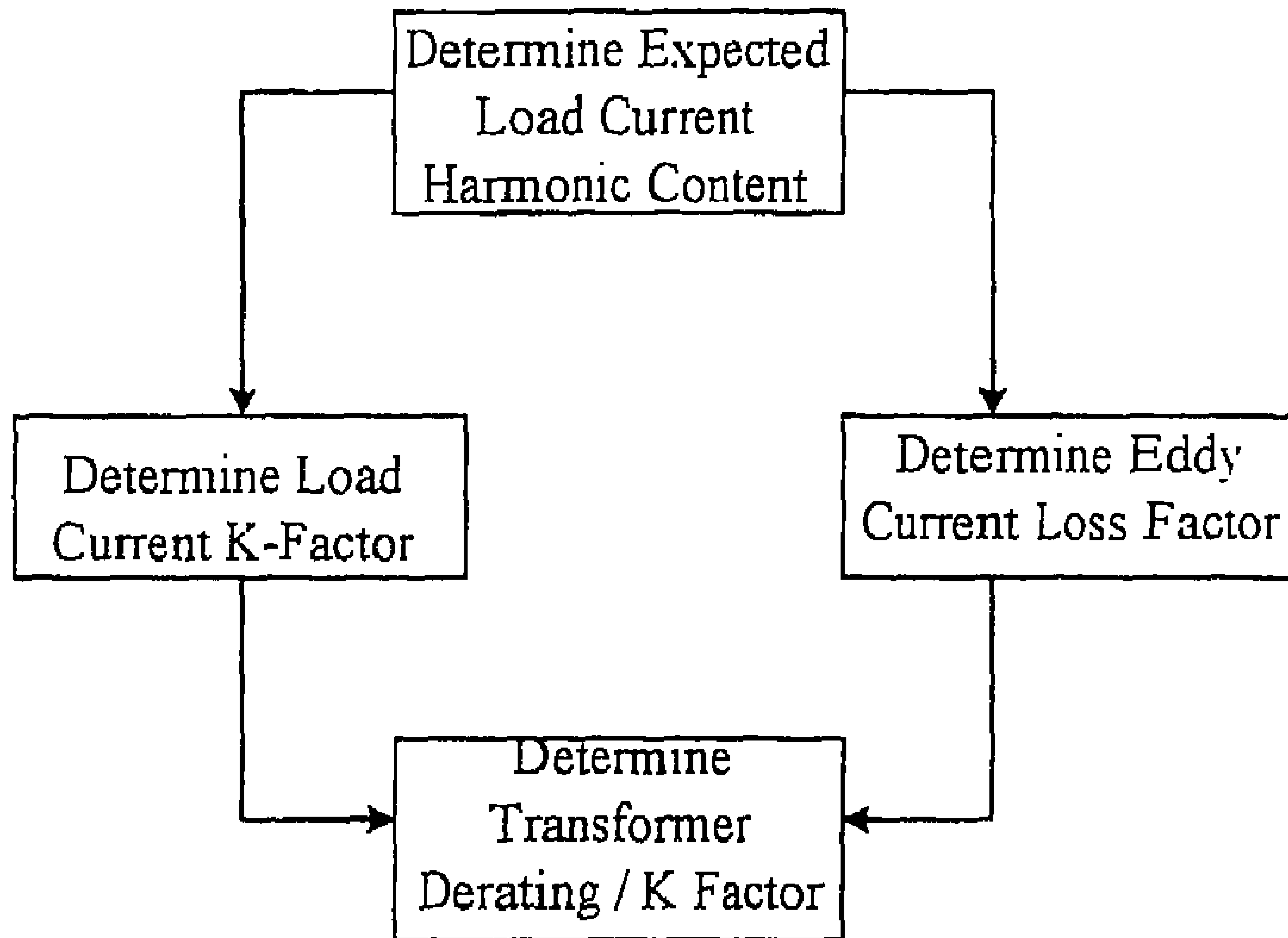
الخطوات حساب عامل ك لمحول نجدها في مخطط سير العمليات في الشكل 10-3. ويقدم هذا السير خطوة بخطوة طريقة لتحديد معامل ك لاستخدامها إمـــا لتقنين محول قياسي أو لتحديد معامل ك من محول به هذا المعامل.

وهناك أساسا أربع خطوات لتقنين المحول derating :

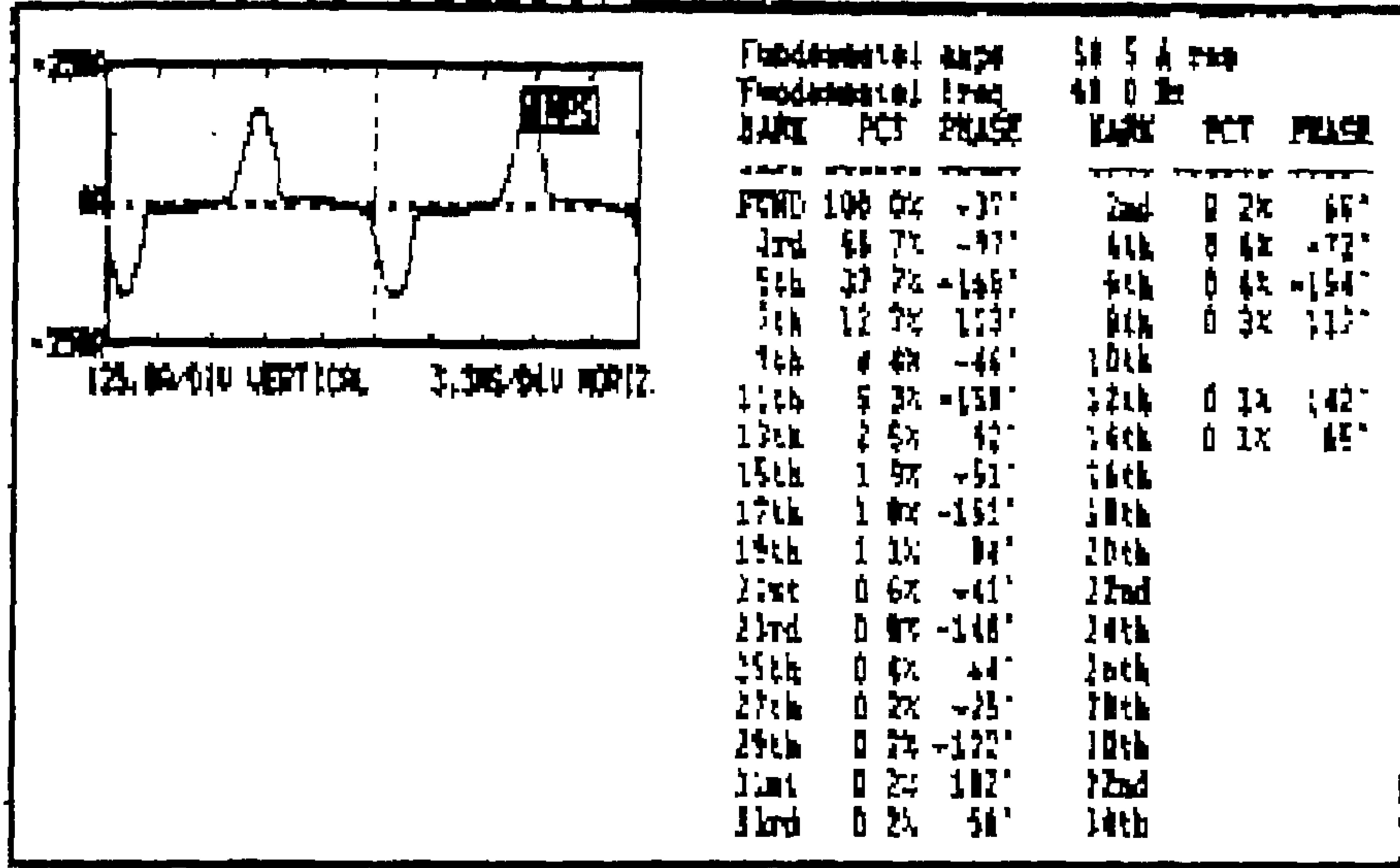
الخطوة 1 : في هذه الخطوة ، من الضروري لتحديد رتبة التوافقيـــات والنـــسبة المئوية المقابلة لمحتوى التوافقيات من إجمالي تيار الحمل. هذا ويمكن تحديدها من القياسات الفعلية للتوافقيات أو عن طريق استخدام توقيع الموجات لمختلف أحمال التوافقيات. أشكال الموجات وجدول من محتوى التوافقيات وترد في شكل 4 – 10 لبعض أحمال التوافقيات النمطية. هذه الأحمال تشمل أجهزة إمداد الطاقة المبنيـــة علي الالكترونيات الصناعية، وأحمال الإضاءة الفلورية ، أجهزة تعـــديل ســـرعة المحركات دون استخدام خانق (فلتر) ، ضبط السرعة مع التيار المتردد باستخدام 3% ملف خانق ،. المعاوقة الكهربائية للمحول يمكن أن تؤثر على شكل الموجـــة

ومحتوى التوافقيات بتيار الحمل. وهذا بسبب أن المعاوقة الكهربائية للمحول فضلا عن ذلك ، بمثابة ملف خانق لخفض محتوى التوافقيات.

الخطوة 2 : حساب معامل ك باستخدام المعادلة 10.2 لكل توافقية بواسطة جمع حاصل ضرب مربع رتبة التوافقيات ومربع تيار التوافقيات ويقسم على مجموع مربع التوافقيات. ويسهل حساب معامل ك لمختلف ظروف التوافقيات باستخدام ورقة عمل (فارغة القيم حاجة إلى ملئها في كل حالة). هذا الجدول يمكن بناؤها بسهولة باستخدام ورقة نشر برنامج كمبيوتر. ويكون تيار الحمل لكل وحدة ، عند رتبة توافقية h.



شكل (8-2) حساب معامل ك وشكل سريان حساب مقنن المحول



شكل (8- 3) موجة التيار والطيف لحمل مغذي القدرة من نوع نمط المفتاح switched mode

الخطوة 3 : تحديد معامل الفقد الناتج عن التيار الدوامي للمحول. وهــو مقيــاس الخسائر الدوامية للمحول. ويمكن الحصول عليها من مصمم المحــول ، بيانــات اختبار المحول ، والطريقة المذكورة في C57.110 ، أو من القيم العاديــة علــى أساس حجم ونوع المحول. ويتضمن الجدول 10.2 القيم النمطية التي يتم الحصول عليها من ورقة معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات وهي بعنوان " التوافقيــات الناتجة عن أجهزة ضبط السرعة ومعدل القدرة : تأثيرها على منظومــة عناصــر القدرة".

الخطوة 4 : تحديد مقنن المحول derating بحساب الحد الأقصى للتيار باستخدام معامل فقد التيار الدوامي في الخطوة (3) ، و معامل ك وتيار الحمــل المحســوب في الخطوة 2. تحديد الحد الأقصى التيار وفقا للمعادلة التالية :

$$I_{max} = \sqrt{\sum I_h^2} = \sqrt{\frac{1 + P_{EC=R}}{1 + K \times P_{EC=R}}} \quad (10.3)$$

حيث أن هو معامل الفقد للتيار الدوامي في حالة الحمل المقنن للفات المحول $P_{EC\text{-}R}$
h = رتبة التوافقيات (1 ، 2 ، 3 ، 4 ، الخ)
I_h = تيار الحمل لكل وحدة عند رتبة التوافقية h

المحولات والمفاعلات

خلاف معظم مكونات نظم الطاقة الكهربائية فيها حتى الآن المعايير التي لا تتناول مباشرة تطبيقها في بيئات تحميل بتوافقيات ، تطبيقات للمحولات التي تتناولها جمعية هندسة القوى. يقوم فريق عمل معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE Standard C57.110.

المعلومات التالية قد تم الحصول عليها في المقام الأول من أن المعيار المقترح. على الرغم من أنها تتناول على وجه التحديد فقط المحولات ، ونفس التقييم سوف تنطبق كذلك على المفاعلات.

الشكل. 3 يبين انهيار مختلف عناصر الفقد التي تشكل مجموع خسارة المحول. مجموع الخسائر في المحول قد يمكن تقسيمها إلى خسارة التحميل وخسارة عدم التحميل ، و خسارة التحميل يمكن تقسيمها بين I^2R (الفقد في الملفات) و الفقد الشارد. وهو مركبة شارد فقدان التحميل التي لها أهمية خاصة عند تقييم التسخين المضاف نتيجة لتأثير التيار الموحي الغير جيبي nonsinusoidal

المفاقيد (الخسائر) الشاردة هي خسائر التيار الدوامي الناجمة عن تدفق الفيض الكهرومغناطيسي الشارد في اللفات ، القلب المغناطيسي ، مشابك القلب ، الدروع المغنطيسية و جدران المحتوى ، وغيرها من الأجزاء الهيكلية للمحول. ومن الملائم لتقسيم خسارة التحميل الشاردة مزيد من بين دوامي التيار بين

الخسارة في اللفات وتلك في القلب ، المشابك ، وغيرها مـن الأجـزاء الهيكليـة (P_{OSL}) وبذلك يمكن التعبير عن حجم الخسائر بالمعادلة التالية:

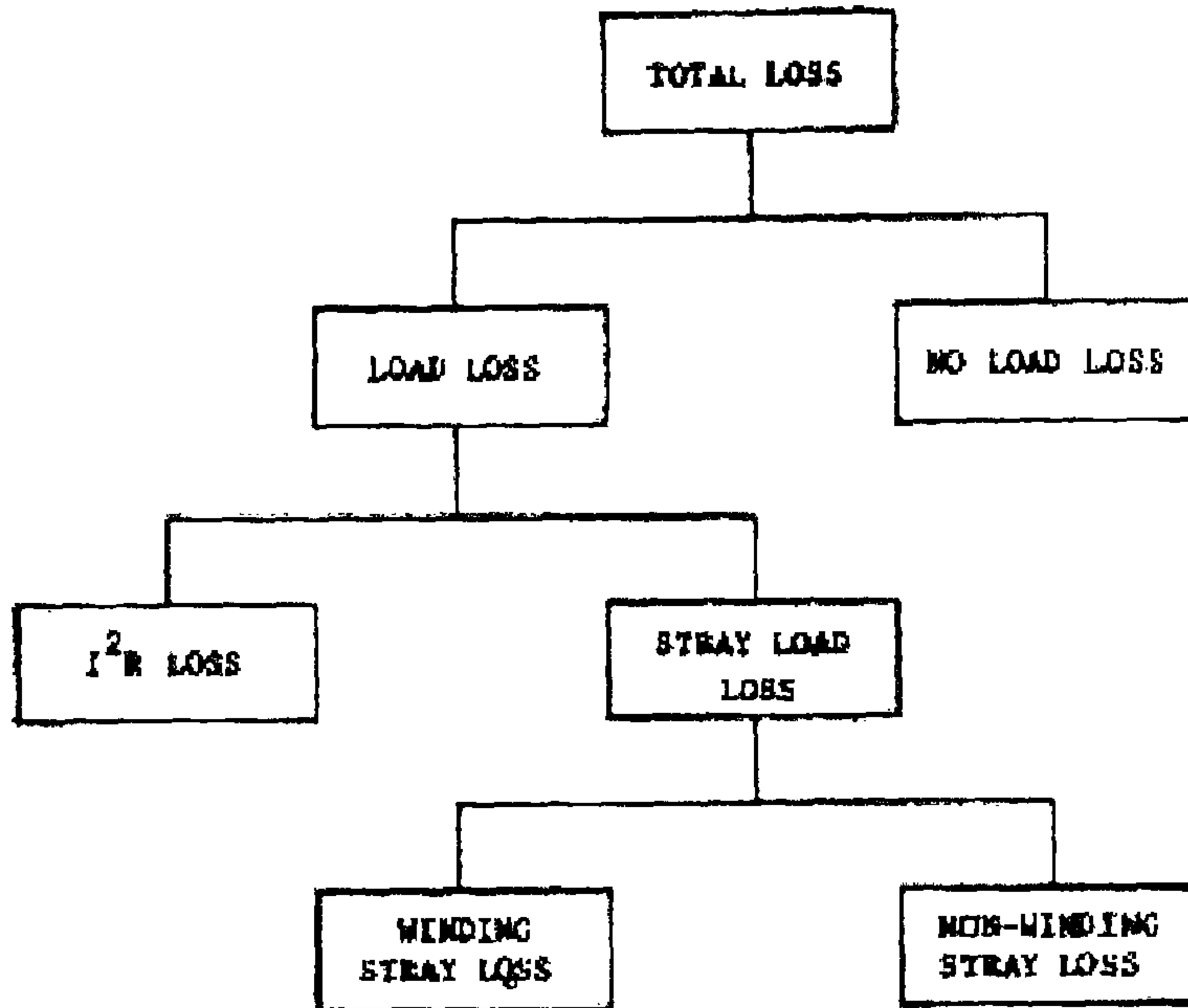
$$P_{LL} = I^2 R + P_{EC} + P_{OSL} \qquad (4)$$

الخسارة الشاردة في اللفات (P_{EC}) ويشمل خسارة التيار الدوامي في الموصل في الملفات بين والفقد الناتج عن التيارات الدوارة بين الدوائر المتوازية. وهذه الخسارة سوف ترتفع متناسبة مع مربع التيار للتحميل و مربع التردد frequency. ورغم أن درجة الحرارة سترتفع في الأجزاء الهيكلية نتيجة زيادة المفاقيد الشاردة P_{OSL} الناجمة عن تيارات الحمل الغير جيبية nonsinusoidal ، وهذا يعتبر اقل حدة من مفاقيد الملفات ويفترض أن لا تكون الخسارة الحادة.

عندما يحمل محول القدرة تيار غير جيبي nonsinusoidal ، المعايير المقترحة من معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE[12] تنص على اثنين من منطلقات أساسية :

(1) باستثناء معامل توافقيات تيار الحمل ، يفترض أن يكون تشغيل المحول وفقا ' شروط الخدمة المعتادة ' في C57. 12.00 أو C57. 12.01.

(2) يفترض أن يكون المحول قادر على إمداد تيار الحمل مع أي محتوى من التوافقيات harmonic شريطة أن يكون مجموع مفاقيد التحميل ، الفقد في تحميل كل من الملفات ، و كثافة الفقد في المنطقة ذات أعلى معدلات للتيار الدوامي لا تتجاوز مستويات التحميل الكامل . كما يفترض أن الشرط الضروري هو كثافة الفقد في المنطقة ذات أعلى معدلات فقد للتيار الدوامي ، ومن ثم، وهذا هو الأساس المستخدم لتحديد معادلة قدرة تحميل المحول".



شكل (8-4) عناصر الفقد الكلي في المحول

("شروط الخدمة المعتادة" النموذجية هي العوامل التي تنطوي على درجة الحرارة المحيطة ، ومعدلات الجهد ، وما إلى ذلك)

تحديد قدرة تحميل المحول في بيئة تيار غير جيبي تتألف من تحديد مفاقيد التيار الدوامي المضافة بسبب فقدان التوافقيات في المنطقة ذات أكبر كثافة فقد ، وبعد ذلك يأتي معامل التحميل derating factor سعة التيار في المحول التي تسمح لمجموع المفاقيد I^2R وبين فقد التيار دوامي بحيث لا يتجاوز مجموع حجم الفقد في ظل ظروف التردد المقنن. في المعادلات التالية ، تعبر عن المفاقيد على أساس لكل وحدة. قاعدة وحدة التيار هي التيار المقنن عند 60 هرتز ، تيار جيبي ، وقاعدة الفقد هي كثافة الفقد في المواقع الساخنة والمنطقة تحت ظروف التيار جيبي المقنن عند 60 هرتز.

المعادلة (4) يمكن التعبير عنها في نظام لكل وحدة على النحو التـــالي عنـــد ظروف التحميل المقننة:

$$P_{LL}(pu)=I^2R_R(pu)+P_{EC-R}(pu)+P_{OSL-R}(pu) \quad (5)$$

حيث :

P_{LL} (pu) هي مجموع كثافة الفقد عند التحميل في النقاط الساخنة ،

I^2R_R (pu)هي الفقد I^2R ،

P_{EC-R}(PU) هي الفقد الناتج عن التيار الدوامي مناطق النقاط الساخنة في الملفات

P_{OSL} هي الفقد الناتج عن التيار الدوامي - nonwinding .

إذا I^2R_R (pu) تعرف بأنها واحدة لكل وحدة ، فان الخسارة $I R^2$ الفعلية تختلــف عن تحميل التيارات الغير جيبية nonsinusoidal بمقدار مجموع مربعات التيـــار الأساسي لكل وحدة التيارات والتوافقيات.

ولذلك :

$$I^2R(\text{pu}) = I^2R_R(\text{pu}) \sum_{h=1}^{h_{max}} (I_h(\text{pu}))^2 \quad (6)$$

حيث أن I_h هو التيار الأساسي او التوافقي لكل وحدة تيار. و حيث أن

$$I^2R_R(\text{pu}) = 1, \quad (7)$$

$$I^2R(\text{pu}) = \sum_{h=1}^{h_{max}} (I_h(\text{pu}))^2. \quad (8)$$

كما نوقشت سابقا ، الفقد الناتج عن التيار الدوامي في الملفات يـــزداد بمـــا يتناسب مع مربع التيار ، و مربع التردد. وبناء على ذلك ، الفقـــد النـــاتج عـــن التيار الدوامي في الملفات بسبب تيار الحمل غير الجيبي nonsinusoidal يمكن التعبير عنها على النحو التالي:

$$P_{EC}(pu) = P_{EC-R}(pu) \sum_{h=1}^{h_{max}} (I_h(pu))^2 h^2. \qquad (9)$$

(ملاحظة أن رتبة التوافقية h ، تكون من مضاعفات التردد الأساسي التردد 50 هرتز ، وهي الطريقة الصحيحة للتعبير عن التردد في صورة لكل وحدة تردد.)

وحيث أن حسابات التسخين المكافئ للمحول تتجاهل المفاقيد الشاردة خارج اللفات ، P_{OSL} – (pu) في المعادلة (5) يمكن أن يكون توضع صفرا وبعد ذلك يعوض من (8) و (9) إلى المعادلة (5) لينتج:

$$P_{LL}(pu) = \sum_{h=1}^{h_{max}} (I_h(pu))^2 + P_{EC-R}(pu) \sum_{h=1}^{h_{max}} (I_h(pu))^2 h^2. \qquad (10)$$

وحتى لا يمكن تجاوز قدرة المحول الحرارية ، PLL (pu) في المعادلة (10) يجب ألا تتجاوز معدل كثافة النقاط الساخنة للمحول ، أي ، $P_{LL\text{-}R}$. وبما أن القدرة هي دالة في مربع التيار ، فإن الحد الأقصى المسموح به لكل وحدة التيار يمكن التعبير عنها على النحو

$$I_{max}(pu) = \left(\frac{1}{I(pu)}\right)\left(\frac{P_{LL-R}(pu)}{P_{LL}(pu)}\right)^{1/2}. \qquad (11)$$

والعنصر I (pu) على المدى هو الجذر التربيعي للقيمة الأساسية مجموعة على جميع التوافقيات في المعادلة حيث ان مجموع الجذر تربيعي التيار ، ليس فقط الأساسي ، هو الذي يؤثر على تسخين المحول (I^2R) . والجزء I_{max} (pu) هو القيمة القصوى للتيار الأساسي وهي القيمة المقننة derated للمحول الذي ينبغي أن يصمم عليها حتى لا تسبب الإفراط في التسخين.

دراسة المعادلة (10) و (11) تبين أن لحساب معامل الحمل المقنن للمحول derating السماح لتحميل التوافقيات ، بالإضافة إلى الاحتياج إلى توزيع تيار

التوافقيات (لكل وحدة) ، وأيضا يتطلب إلى معامل فقد التيار الدوامي للمحول في منطقة البقعة الساخنة P_{EC-R}. هذا العامل يجب أن يكون تم الحصول عليهـا مـن مصمم المحولات أو تحسب وفقا للإجراء المقترح في معهد مهندسـي الكهربـاء والإلكترونيات الموحدة IEEE Standard C57.110. وكقاعدة عامة ، P_{EC-R} ستزداد تبعا للقدرة الظاهرية للمحول (كيلو فولت أمبير) ، وهذه القيم للمحولات من النـوع الجاف سوف تكون أعلى من الوحدات من النوع المملوء بالزيت. يرجى الرجـوع إلى الجدول الخامس لبعض النطاقات العامة لمختلف المحولات و المفاعلات.

عند تقييم تطبيق معين لمحول ، من الأفضل التماس معامل فقد التيار الدوامي من مصمم المحولات. ومع ذلك ، المرجع [12] يعترف بأن الحصول على معامل P_{EC-R}(PU) من مصمم محول قد يكون من المستحيل أو غيـر ملائـم ، ووفـر إجراءات للحصول على حساب فقد التيار دوامي لملفات المحول. هذا الحـساب على أساس الافتراضات التالية.

1) بيانات تقرير الاختبار المعتمدة للمحول متاحة.
2) كل من المفاقيد الشاردة يفترض أن تكون مفاقيد التيار الدوامي .
3) وخسارة I^2R يفترض أن يكون موزعة بانتظام في كل ملف.
4) تقسيم المفاقيد الدوامية بين اللفات يفترض أن يكون90 في المائـة فـي الملفات الداخلية و عشرة في المائة من الملفات الخارجية ، إذا كانت نسبة تحويل المحول أكبر من أربعة إلى واحد وأيضا لها واحد أو أكثـر مـن اللفات يبرد تبريدا ذاتيا والتيار أكثر من 1000 أ.

*جميع المحولات الأخرى ، و 60 في المائة في الملفات الداخلية و 40 فـي المائة من الملف الخارجي ، (ما لم يكن معروفا خلاف ذلك ، يمكن افتـراض ملف الجهد المنخفض هو الملف الداخلي).

5) الحد الأقصى لكثافة المفاقيد الدوامية يفترض أن يكون 400 في المائة من متوسط كثافة المفاقيد الدوامية لهذا الملف.

TABLE V
EDDY CURRENT LOSS FACTOR P_{EC-R}

	Percent
Dry Type Transformers	
≤1000 kVA	3–8
≥1500 kVA, 5 kV HV	12–20
≤1500 kVA, 15 kV HV	9–15
Oil-Filled Transformers	
≤2500 kVA, 480-V LV[a]	1
>2500 ≤ 5000 kVA	1–5
>5000 kVA	9–15
Reactors	
Air core	15–30

[a] Applies to any transformer with LV sheet type winding.

وعلى أساس افتراض (2) ، المفاقيد الدوامية تساوي إجمالي المفاقيد عند التحميل ناقص مفاقيد I^2R ، وبالتالي

$$P_{EC-R} = P_{LL-R} - k[(I_{1-R})^2 R_1 + (I_{2-R})^2 R_2] \quad W \quad (12)$$

حيث

I1 التيار الابتدائي ،

R1 المقاومة الابتدائية لكل وجه ،

R2 مقاومة الملف الثانوي لكل وجه ،

I2 التيار الثانوي ،

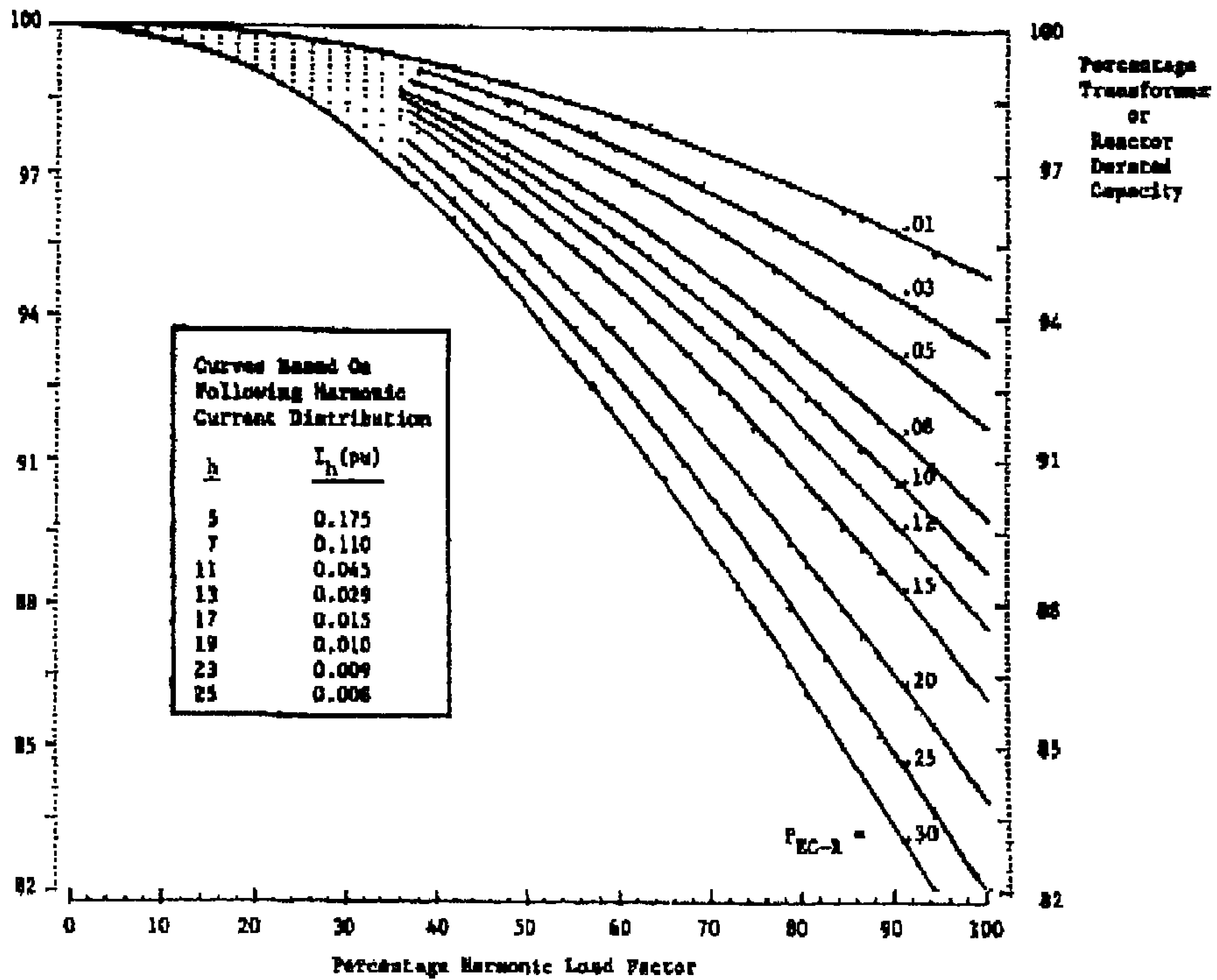
k=1.0 للمحولات ثلاثية الأوجه ، 1.5 للمحولات أحادية الوجه.

وحيث ان متوسط الفقد الدوامي سيكون أكبر في الملفات الداخلية (التي يفتــرض أنها للجهد المنخفض) ، فان متوسط المفاقيد الدوامية لكل وحدة سوف تكون :

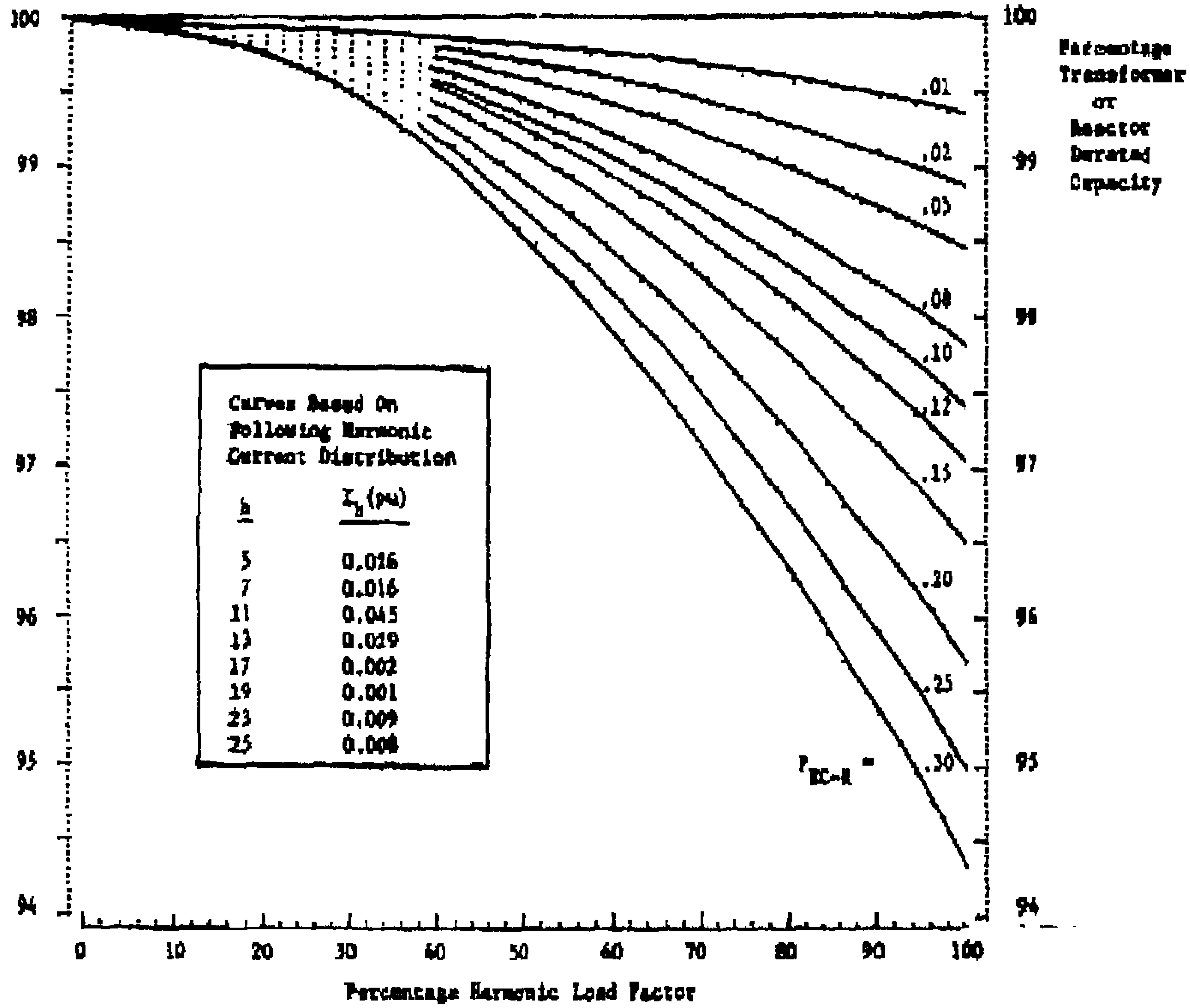
$$\text{average } P_{EC-R}(\text{pu}) = \frac{(J)P_{EC-R}\ \text{W}}{k(I_{2-R})^2 R_2\ \text{W}}\ (\text{pu}) \qquad (13)$$

حيث j=0.9 أو 0.6 حسب الفرض (4)، وحسب الفــرض (5) تكــون القيمــة القصوى للمفاقيد الدوامية 400% من القيمة المتوسطة ،

$$\text{maximum } P_{EC-R}(\text{pu}) = \frac{(4.0)(J)P_{EC-R}\ \text{W}}{k(I_{2-R})^2 R_2\ \text{W}}\ (\text{pu}). \qquad (14)$$



شكل (8-5) معامل التحميل للمحول مقابل معامل التوافقيات مع توزيع التوافقيات ستة نبضات



شكل (8-6) معامل التحميل للمحول مقابل معامل التوافقيات مع توزيع التوافقيات 12 نبضة

وقد حسبت هذه القيمة ، ومن ثم يمكن استخدام المعادلة (10) و (11) لتحديد قدرة المحول على تحمل التيار الغير جيبي Nonsinusoidal Current .

باستخدام إجراءات الحساب التي تم ذكرها سابقا ، فمن الممكن لرسم منحنيات سعة التقنين للمحولات capacity derating curves كما هو موضح في الشكلين 4 و 5. هذه منحنيات توضح سعة التقنين للمحول أو الملف كنسبة مئوية من القدرة P_{EC-R} للجهاز والنسبة المئوية لمعامل تحميل التوافقيات. وهناك من التبسيط تعريف معامل تحميل التوافقيات harmonic load factor (HLF)

$$HLF = \frac{HL}{(HL + OL)} \times 100 \qquad (15)$$

حيث:

HL تحميل التوافقيات (كيلو فولت أمبير) ،

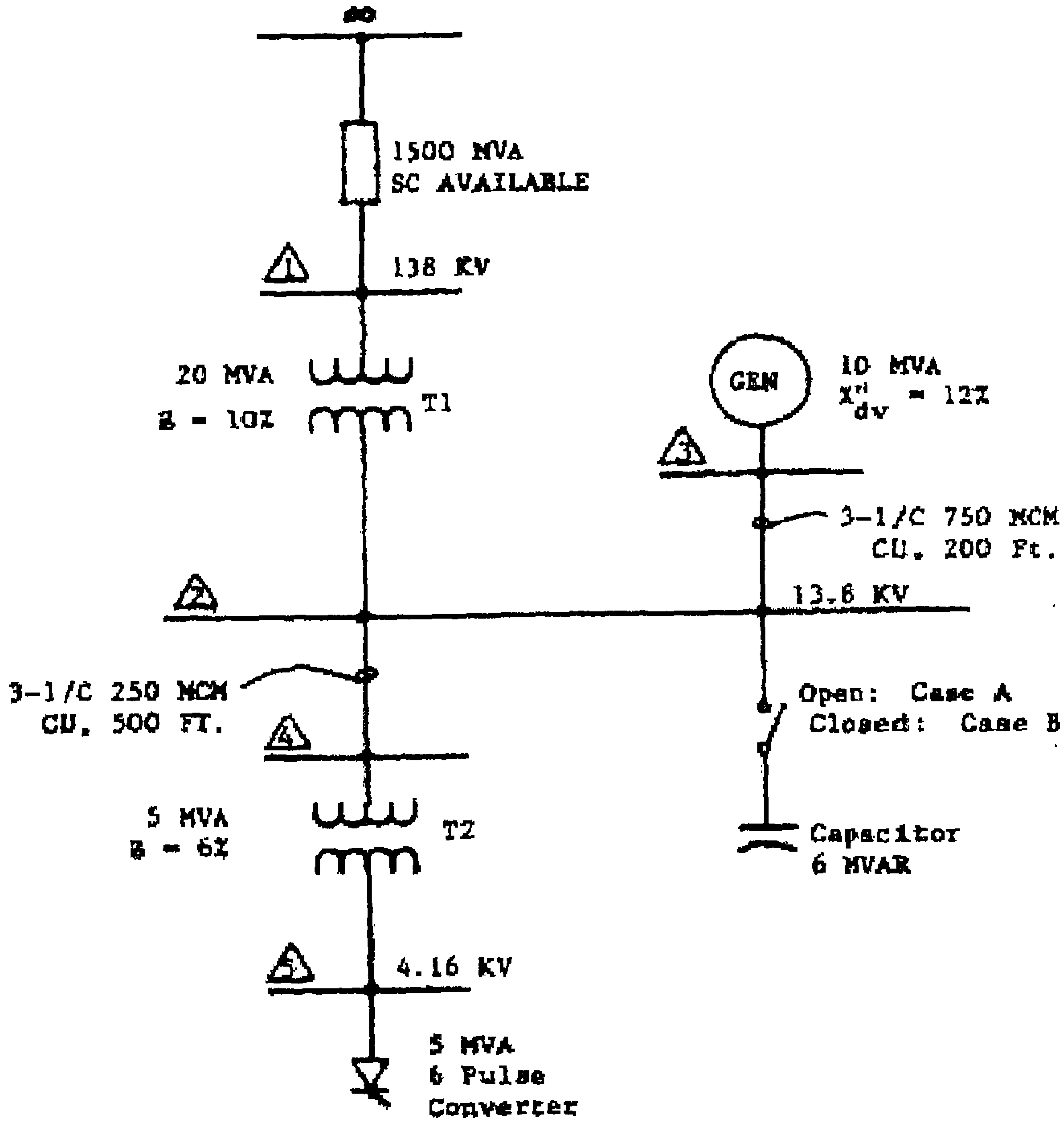
OL التحميل خاص بالمنحنى الموجي الجيبي (كيلو فولت أمبير).

على سبيل المثال ، إذا كان محول 3000 كيلو فولت أمبير يغـــذي مغيــر قدرة وحمل محرك كهربائي 1000 كيلو فوات أمبيــر ، فيكـــون HLF يـــساوى (3000 / (3000 + 1000)) × 100 = 75 % . (وفي بعـــض الحـــالات هـــذه الصيغة لن تطبق دائما كما سيتضح في الأمثلة. ومع ذلك ، ســـوف تـــسفر عـــن استخدام نتائج متحفظ عليها.)

ومن المهم أن نلاحظ الافتراض الرئيسي الذي تبنى وتستند عليه منحنيـــات شكل 4 ، 5. أي أن توزيع التوافقيات في المحول تتضح وفقا للتوزيع في الجـــدول الأول ؛ توزيع ستة نبضات في الشكل رقم. 4 و 12 نبضة للـــشكل 5. وإذا كـــان واحد أو أكثر من تيارات التوافقيات في محول قد تم تكبيره نظرا لحالـــة رنـــين ، فان هذه المنحنيات لن تطبق ، ويجب أن تتم عملية حساب محددة لتوزيع تيـــارات التوافقيات التي تواجهها.

فعلى سبيل المثال، نعتبر اثنين من المحولات للنظام المبين بالشكل رقـــم6. إن توزيع تيار التوافقيات للمحول T2 هو نفسه ما إذا كان المكثفات موصلة أو لا ، حيث أن المحول على التوالي مع مغير القدرة وليس جزءا من مـــسار الـــرنين الموازي resonanting parallel path. والمحول لا يغذي سوى تحميل حمـــل مغير القدرة ويساوي مقدار الكيلو فوات أمبير المقنن لذلك فان عاملHLF بنـــسبة 100 %. وبما أن توزيع التيار هو أساسا لنظام مغير قدرة ســـتة نبـــضات علـــى النحو المحدد في الجدول الأول ,Table I، سوف تطبق المنحنيات في الشكل رقـــم.

4. وإذا كان لدينا محول له P_{EC-R} خمسة في المائة ، إذن تكون القـدرة المقننـة derated capacity من الشكل. 4 هي 91.6 %.



شكل (8-7) رسم خطي نموذجي للنظام المستخدم في حساب تيار التوافقيات

تيارات التوافقيات في محول T1 تختلف اختلافا كبيرا بين الحالات ألـف A وباء B بسبب الرنين. في هذه الحالة ، الجدول الثاني ، يوضح توزيع التوافقيـات المصاحب لمغير قدرة نظام ستة نبضات ، ذلك من منحنيات الشكل رقم 4 سـوف يكون قابلا للتطبيق. ووفقا للمعادلة (15) فان HLF تساوي:

$$\frac{5000}{15000 + 5000} \times 100 = 25\ \%$$

(وفي الواقع ، فإن HLF هو أقل بعض الشيء لأن توزيع تيـــار التوافقيـــات يكون مشتركا مع المولد. وإذا كان مقنن المحول 20 ميجا فولـــت أمبيـــر ، فمـــن المتوقع أن تكون قيمة التوافقية الخامسة تساوي 17.5 ٪ من الحمل الكامل وهـــو 837 من الأمبيرات عند جهد 13.8 كيلو فولت ، والتي تبلغ 146 أمبير ، ويبـــين الجدول الثاني Table II تدفق تيار التوافقية الخامسة ليكون 22.53 أمبير ؛ ولذلك ،يكون معامل تحميل التوافقيات HLF الحقيقي هو (146/22.53) × 100 يساوي 15 %) . دعنا نفترض أن معامل P_{EC-R} للمحول T1 يساوي 12 %. يمكن لنـــا أن نرى من الشكل رقم. 4 أن التغير في السعة ليس مؤثرا ، ولا حتى إلـــى 98 % ، عمـــا إذا كـــان معامـــل التوافقيـــاتHLF هـــو 25 % أو 15 %. الحالة B ، الجدول الثاني للمحول T1 يكون مختلفا تماما بسبب الرنين. في هـــذه الحالة الشكل رقم. 4 لا يمكن استخدامه بسبب تضخيم تيارات التوافقيات.

TABLE VI
TRANSFORMER T1 HARMONIC CURRENT DERATE CALCULATION FOR CASE B

h	I_h (A)	I_h (pu)	I_h^2	$I_h^2 h^2$
1	837	1.0	1.0	1.0
5	53.21	0.0636	0.004040	0.101
7	90.22	0.1078	0.011620	0.569
11	2.24	0.0027	0.000007	0.001
13	0.86	0.0010	0.000001	0.0
17	0.31	0.0	0.0	0.0
19	0.20	0.0	0.0	0.0
23	0.08	0.0	0.0	0.0
25	0.05	0.0	0.0	0.0
			1.0157	1.671

وقد سبق ووصف إجراءات الحساب ويجب أن تستخدم. ويلخص الجدول السادس الحسابات الأولية الضرورية.

الاستعاضة عن مجمل القيم I^2h^2 و I^2 من الجدول السادس في المعادلة (10) ينتج

$$1.216 = (1.671)\ (0.12) + 1.0157 = (pu)\ PLL$$

وبعد ذلك من المعادلة (11) :

$$I_{max}(pu) = \left(\frac{1}{1.0157}\right)\left(\frac{1.12}{1.216}\right)^{1/2} = 0.945,$$

وهكذا فإن مستوى أعلى من تدفق تيار التوافقيات في محول T1 بسبب رنين يعني تقنين قدرة تحميل المحول إلى 94.5 في المائة.

توافقيات المصدر

التوافقيات علي المصدر تتسبب في تيار زائد يمر في المكثفات وذلك لان معاوقة المكثف تقل مع زيادة التردد وهذه الزيادة تتسبب في تسخين إضافي للمكثف ويقلل ذلك من عمره الافتراضي وتتولد هذه التوافقات من وجود أحمال غير خطية مثل متحكمات السرعة المتغيرة ومفاتيح مصدر التغذية الكهربي ويمكن التقليل من توافقيات الجهد باستخدام معوضات التوافقيات وهي عبارة عن مغيرات تيار كبيرة وكذلك يمكن استخدام مرشحات التوافقيات السلبية (passive harmonic filters) والمكونة من مقاومة وملفات ومكثفات.

وللتقليل من الأضرار علي المكثفات الناتجة عن تيارات التوافقيات أصبح من الشائع الآن استخدام مفاعلات حثية علي التوالي مع المكثفات وهذه المفاعلات الحثية تجعل دائرة التصحيح حثية عند الترددات العالية(اعلي من التوافقيات الثالثة third harmonics) والهدف من استعمالها هو جعل دائرة التصحيح حثيه قدر الإمكان عند التوافقيات الخامسة واعلي وسعوية عند التردد .

رنين مصدر التغذية الكهربائي:

تصحيح معامل القدرة باستخدام المكثفات المتصلة علي أطراف لمصدر تتسبب في حالة الرنين بين المصدر والمكثفات لو أن تيار القصر للمصدر عالي

جدا فان تأثير الرنين سيكون اقل بينما في التركيبات الساذجة عندما يكون المصدر حتي بصورة كبيرة وله معاوقة عالية فيكون بأثير الرنين خطير جدا ويودي إلـــي تدمير المعدات الموجودة. الجهود العالية والعابرة والتي تكـــون أضـــعاف جهـــد المصدر غير معتادة مع مصادر التغذية الضعيفة وخاصة عندما يكون الحمل علي المصدر منخفض كما هو الحال في أنظمة الرنين فالتغير المفاجئ أو العـــابر فـــي التيار ينتج طنينا في دوائر الرنين وتوليدا للجهد العالي.

لتقليل مشاكل رنين مصادر التغذية يمكن تتبع بعض الخطوات مـــع الأخـــذ فـــي الاعتبار كل ما هو متعلق بمصدر التغذية:

(1) تقليل قيمة تصحيح معامل القدرة خاصة عندما يكون الحمل خفيفا ويقلـــل تصحيح معامل القدرة من الفقد في مصدر التغذية .

(2) التقليل من الجهود عند عمليات الفتح ويمكن إلغاء عمليات الفـــتح العـــابرة باستخدام مفاتيح المصدر متعاقبـــة التـــشغيل وبغـــض بادئـــات التـــشغيل الكهروميكانيكية مثل بادئ التشغيل نجمة دلتا .

(3) توصيل المكثفات مع المصدر في خطوات عديدة صغيرة بدلا من خطوات كبيرة وقليلة.

(4) يتم إدخال المكثفات علي المصدر بعد إدخـــال الأحمـــال وكـــذلك فـــصل المصدر قبل أو مع فصل الأحمال.

تصحيح معامل القدرة للتوافقيات لا يطبق للدوائر التـــي تـــسحب تيـــارا لـــه موجات متقطعة ومشوهة .

معظم المعدات الالكترونية تشتمل علي وسائل لإيجاد تيار مـــستمر بتوحيـــد الجهد المتردد وهذا يتسبب في وجود تيارات للتوافقيات وفي بعض الحالات يكون تيار التوافقيات غير ملحوظ نسبة لتيار الحمل الكامـــل ولكـــن فـــي العديـــد مـــن التركيبات الكهربية فان جزءا كبيرا من التيار المسحوب من المصدر يكون غنيـــا بالتوافقيات فإذا كان تيار التوافقيات كبيرا بدرجة كافية فسوف ينتج تشوه لموجـــة

مصدر التغذية والتي يمكن إن تتداخل مع التشغيل الصحيح للمعدات الأخرى ويتسبب تيار التوافقيات في زيادة الفقد في مصدر التغذية .

تصحيح معامل القدرة لمصادر التغذية ذات الجهد المشوه لا يمكن تحقيقه بإضافة مكثفات ويمكن التقليل من التوافقيات بتصميم المعدات مستخدما موحدات الجهد وإضافة مرشحات خاملة (passive filters LCR) أو بإضافة متغيرات الجهد الالكترونية لتصحيح معامل الجهد والتي تعيد موجة الجهد إلى حالتها غير المشوهة .

Reference

1. David E. Rice, " Adjustable Speed Drive and Power Rectifier Harmonics Their Effect on Power Systems Components", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. IA-22, No. 1, January/February 1986.

2. "Evaluation of Power System Harmonic Effects on Transformers Hot Spot Calculation and Loss of Life Estimation", Doctoral Dissertation, Asaad A. Elmoudi, Helsinki University of Technology, Power Systems and High Voltage Engineering

الفصـل التاسع

المواصفات القياسية الخاصة بمحولات القدرة

الفصل التاسع

المواصفات القياسية الخاصة بمحولات القدرة

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
POWER TRANSFORMERS –
APPLICATION GUIDE

IEC 60076-8

دليل تطبيقات مواصفات اللجنة الكهربائية التقنية الدولية 8 -60076

مقــدمة:

اللجنة الكهربائية التقنية الدوليــة IEC هــي المنظمــة العالميــة لتوحيــد المواصفات القياسية و تضم جميع اللجان الوطنية الكهربائية (اللجنــة الكهربائيــة التقنية – اللجان الوطنية). والهدف من اللجنة الكهربائية التقنية الدولية هو تعزيــز التعاون الدولي بشأن جميع المسائل المتعلقة بتوحيــد المواصــفات القياســية فــي المجالات الكهربائية والإلكترونية. وتحقيقا لهذه الغاية وبالإضافة إلى أنشطة أخرى ، تنشر اللجنة الكهربائية التقنية الدولية المعايير والمواصفات القياسية الدولية.

ويعهد إعدادها إلى لجان فنية ؛ ويمكن لأي عضو في اللجنــة الكهربائيــة التقنية الدولية للجنة الوطنية المهتمة في موضوع يتم تناوله أن يشارك فــي هــذا العمل التحضيري. المنظمات الدولية والحكومية والمنظمات غير الحكوميــة التــي لها اتصال مع اللجنة الكهربائية التقنية الدولية أيضا المشاركة في هذا الإعداد.

وتتعاون اللجنة الكهربائية التقنية الدولية تعاونا وثيقا مع المنظمــة الدوليــة للتوحيد القياسي وفقا للشروط التي يحددها اتفاق بين المنظمتين.

والقرارات الرسمية أو اتفاقات اللجنة الكهربائية التقنية الدولية تعبــر عــن المسائل التقنية ، ونحو ممكن ، توافق دولي في الرأي حول المواضيع ذات الصلة حيث أن كل لجنة تقنية لها تمثيل من جميع اللجان الوطنية المهتمة.

والوثائق الصادرة في شكل توصيات للاستخدام الدولي ونشرت فـــي شـــكل معايير ومواصفات قياسية ، تقارير تقنية أو أدلة وأنها تم فبولها بواســـطة اللجـــان الوطنية في هذا الاتجاه.

ومن أجل تعزيز توحيد المواصفات الدولية ، تقوم اللجنة الكهربائية التقنيـــة الدولية بتطبيق المعايير الدولية بشفافية إلى أقصى حد ممكن في معـــايير وطنيـــة وإقليمية. أي اختلاف بين اللجنة الكهربائية التقنية الدوليـــة الموحـــدة والمنـــاظرة وطنية أو إقليمية موحدة بصورة واضحة كما سنرى لاحقا.

واللجنة الكهربائية التقنية الدولية لا يقدم أي علامات تـــشير إلـــى إجـــراء الموافقة ولا يمكن جعلها مسئولة عن أي معدات أعلن انها متفقة مع واحـــدة مـــن المعايير.

ويوجه الانتباه إلى إمكانية أن تكون بعض عناصر هذا المعيار الدولي يمكن أن تكون موضوع حقوق براءات الاختراع. ولا تكون اللجنة الكهربائيـــة التقنيـــة الدولية مسئولة عن تحديد أي أو جميع حقوق براءات الاختراع.

المواصفات القياسية الدولية الموحدة IEC 60076-8

والتي قد أعدت بواسطة اللجنة الكهربائية التقنية الدولية لجنـــة تقنيـــة 14 : محولات الكهرباء.

هذه الطبعة الأولى من اللجنة الكهربائية التقنية الدوليـــة 60076-8 يلغـــي ويحل محل مواصفات اللجنة الكهربائية التقنية الدولية 60606 التي نـــشرت فـــي عام 1978. هذه الطبعة تشكل تنقيح تقني.

1.1 النطاق والهدف

وينطبق هذا المعيار لمحولات الكهرباء التي تتفق مع سلسلة من منشورات اللجنـــة الكهربائية التقنية الدولية 60076.

وهو يهدف إلى تقديم معلومات إلى المستخدمين عن :

- بعض خصائص الخدمة الأساسية من مختلف توصيلات المحولات وتصاميم النوائر المغناطيسية ، مع إشارة خاصة إلى ظاهرة التسلسل الصفري ؛
- نظام تيارات الخطأ في المحولات مع YNynd والتوصيلات المماثلة ؛
- تشغيل المحولات على التوازي ، وحساب الجهد في ظل انخفاض أو ارتفاع الحمل ، وحساب مفاقيد التحميل لمجموعات الأحمال ثلاثية الملفات ؛
- اختيار تقدير الكميات المقننة وكميات التجزيء في وقت الشراء ، على أساس حالات التحميل المحتملة ؛
- تطبيق المحولات ذات التصميم التقليدي لتحميل مغيرات القدرة الااليكترونية ؛
- تقنية القياس والدقة في قياس المفاقيد.

جزء من المعلومات ذات طبيعة عامة وتنطبق على جميع الأحجام من محولات القدرة الكهربائية.

عدة فصول ، تتعامل مع الجوانب والمشاكل التي هي فقط للمواصفات وتشغيل الوحدات الكبيرة عالية الجهد من المحولات.

التوصيات ليست ملزمة ولا تشكل في حد ذاتها متطلبات المواصفات .

والمعلومات المتعلقة بالتحميل loadability لمحولات القدرة ترد في مواصفات اللجنة الكهربائية التقنية الدولية 60354 وهي للنوع المغمور في الزيت oil-immersed وللمحولات الجافة في مواصفات اللجنة الكهربائية التقنية الدولية 60905 .

وتوجيهات اختبار الدفعة (النبضة) لمحولات الكهرباء يرد في مواصفات اللجنة الكهربائية التقنية الدولية رقم 60722.

الإشارات المعيارية :

الوثائق المعيارية التالية التي تتضمن أحكاما ، من خلال الإشـــارة فـــي هـــذا النص ، وتشكل أحكام هذا المعيارالقياسي الدولي. في وقـــت النـــشر ، الطبعـــات المشار اليها صحيحة. جميع الوثائق المعيارية تخضع للتنقيح ، والأطـــراف فـــي الاتفاقات على أساس هذا المعيار الدولي مدعوة إلى التحقيق في احتمـــال تطبيـــق أحدث إصدار من الوثائق المعيارية المشار إليها أدناه. يحـــافظ أعـــضاء اللجنـــة الكهربائية التقنية الدولية IEC و أعضاء المنظمة الدولية للتوحيد القياســـي ISO على السجلات الصالحة حاليا للمعايير الدولية.

IEC 60050 (421) : 1990 ، المفردات الكهربائية التقنية الدولية (IEV)

- الفصل 421 : محولات القدرة والمفاعلات
- IEC 60076 : محولات الكهرباء
- IEC 60076 يتألف من الأجزاء التالية ، تحت العنوان العام : محـــولات الكهرباء.

الجزء 1 : عام 1993 ، القسم العام

الجزء 2 : 1993 ، ارتفاع درجة الحرارة

الجزء 3 : 1980 ، مستويات العزل واختبارات المواد العازلة

الجزء 5 : 1976 ، والقدرة على تحمل قصر الدائرة

الباب 8 : 1997 ، و دليل التطبيقات

IEC 60289:1988 ، مواصفات المفاعلات

IEC 60354:1991 ، دليل لتحميل محولات الكهرباء المغمورة في الزيت.

IEC 60722:1982 ، والدليل إلى اختبار نبـــضة البـــرق ودفعـــة الفـــصل لمحولات القدرة والمفاعلات

IEC 60905:1987 ، دليل لتحميل النوع الجاف من محـــولات الكهربـــاء.

IEC 60909:1988 ، حساب تيار القصر فـــي ثـــلاث مراحـــل التـــدقيق نظـــم

60909-1:1991 IEC ، تيار القصر حساب في نظام التيار المتـــردد الثلاثـــي الأوجه -- الجزء 1 :

عوامل حساب تيارات دائرة القصر في في نظام التيار المتردد الثلاثي الأوجه وفقا لنظم IEC 60909 (1988)

60909-2:1992 IEC ، المعدات الكهربائية – بيانات تيار القـــصر وفقـــا للحسابات في IEC 60909 (1988)

IEC 61378-1 : 1997 ، محولات مغيـــرات القـــدرة -- الجـــزء 1 : محولات التطبيقات الصناعية

آيزو 9001 : 1994 ، أنظمة الجودة -- نموذج لضمان الجودة في تصميم وتطوير وإنتاج وتركيب وتقديم الخدمات

المعايير و المواصفات القياسية لمحولات فرن القوس الكهربي

وفيما يلي المعايير التي تحكم الفرن والمعدل والمحولات وتطبيقاتها الميدانية :

اختبار برامج الاختبار واسعة النطاق والنوع الثقيل تتم لأداء كل تصميم مـــن المحولات لتحقيق المتطلبات الخاصة للعملاء. الاختبار الميداني لـــديها إمـــدادات طاقة حوالي 150 ميجا فولت أمبير. ومن الممكن أيضا ترتيب والجمع بين أنظمة الاختبارات.

اللجنة الكهربائية التقنية الدولية IEC

IEC 60076 series
IEC 61378-1
IEC 60146
IEC 60214

معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE

IEEE C57.12.00
IEEE C57.12.90
IEEE C57.18

المعايير القياسية لمحولات السكك الحديدية

وفيما يلي المعايير التي تحكم السكك الحديدية والمحولات وتطبيقاتها الميدانية :

• اللجنة الكهربائية التقنيـة الدوليـة IEC-60076 ، المواصـفات القياسـية للمحول.

• EN 50329 ، مواصفات الاتحاد الأوروبي لتركيب محولات السكك الحديدية .

• EN 50121-5 ، مواصفات الاتحاد الأوروبي القياسـية (التوافـق الكهربـائي المغنطيسي) لتطبيقات السكك الحديدية .

• EN 50122-1 ،مواصفات الاتحاد الأوربي لأنظمة سلامة الأرضي القياسـية لتطبيقات السكك الحديدية.

• EN 50124-1 ، تنسيق العزل لتطبيقات السكك الحديدية

اختبار – وقد تم عمل اختبارات واسعة النطاق وبرامج النوع الثقيل لأداء كـل تصميم من المحولات لتحقيق المتطلبات الخاصـة لـشركات الـسكك الحديديـة.

المعايير القياسية لمحولات التوزيع

يجب أن تحقق محولات التوزيع أعلى مستويات الأمان للمشغلين والعامة وتختبـر طبقا لاحدث المواصفات القياسية الدولية التي تشمل:

العزل – ارتفاع درجة الحرارة – زمن القـصر والتيـار الأقـصى فـي دوائـر التأريض– درجة الحماية– درجة العزل – قصر القوس الداخلي

Dielectric, temperature rise, short time and peak withstand current of earthing circuits , IP class, IK class and internal arc fault

مواصفات الاتحاد الأوربي لمحطة المحـولات الثانويـة المدمجـة (محـولات التوزيع)

EN-6227 for enclosure
EN-60076 transformer
EN-60265 HV switches
EN-60439 low voltage
EN-60298/694 HV switchgear

الفصـل العاشـر

مغير الخطوة للمحول

الفصل العاشر

مغير الخطوة للمحول

المحتويات

مغير الخطوة للمحول

خطوة المحول هي نقطة توصيل وسطية على طول ملف المحول التي تسمح باختيار عدد معين من اللفات. وهذا يعني ، من جانب ، أن المحول يكون ذو نسبة تحويل متغيرة ، وتمكن من تنظيم الجهد للخرج. ويتم اختيار الخطوة عن طريق الاستفادة من آلية (ميكانيزم) مغير الخطوة.

اعتبارات الجهد

إذا كان المطلوب مغير خطوة واحد فقط ، فان نقاط التقسيم عادة ما تكون على جانب الجهد المرتفع ، أو جانب التيار المنخفض من الملفات ، وذلك لتقليل متطلبات التيار إلى أدنى حد لأطراف التوصيل ، ويجوز أن تكون نقاط التقسيم للمحول على كلا الجانبين إذا كانت هناك مزايا لذلك. فعلى سبيل المثال ، في شبكات توزيع الطاقة ، المحول الكبير قد يكون له مغير خطوة بدون تحميل على

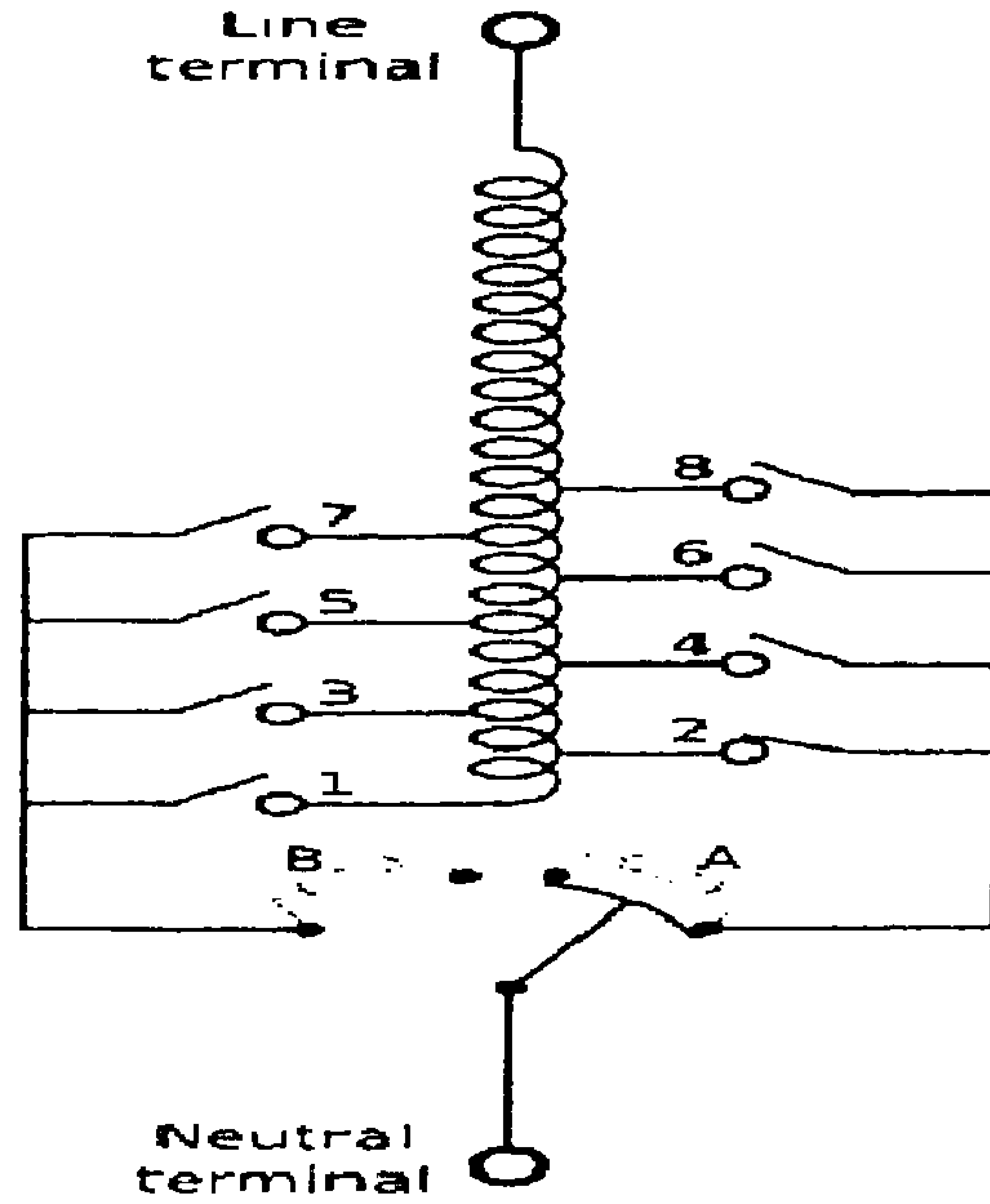
الملف الابتدائي مغير خطوة على الحمل بالملف الثانوي. ولتقليل عدد الملفات إلى أدنى حد ، وبالتالي تقليل الحجم المادي للمحول ، يمكن أن تستخدم ملف 'عكـس' 'reversing' winding ، والتي هي جزء من الملف الرئيسي ولكن يمكن أن توصـل في الاتجاه المعاكس ، وبالتالي تعارض الجهد. متطلبات العزل تجعل مكان نقـاط التقسيم في نهاية الجهد المنخفض من الملفات. و بالقرب من نقطة التعـادل فـي توصيلة ملفات نجمة نجمة. وفي الملفات المتصلة دلتا ، عادة ما تكون نقاط التقسيم في مركز الملفات. في المحول الذاتي ، عادة ما تكون النقاط بين الملفات المتوالية واللفات المشتركة ، أو على شكل سلسلة 'buck-boost' من قسم الملفات المشتركة.

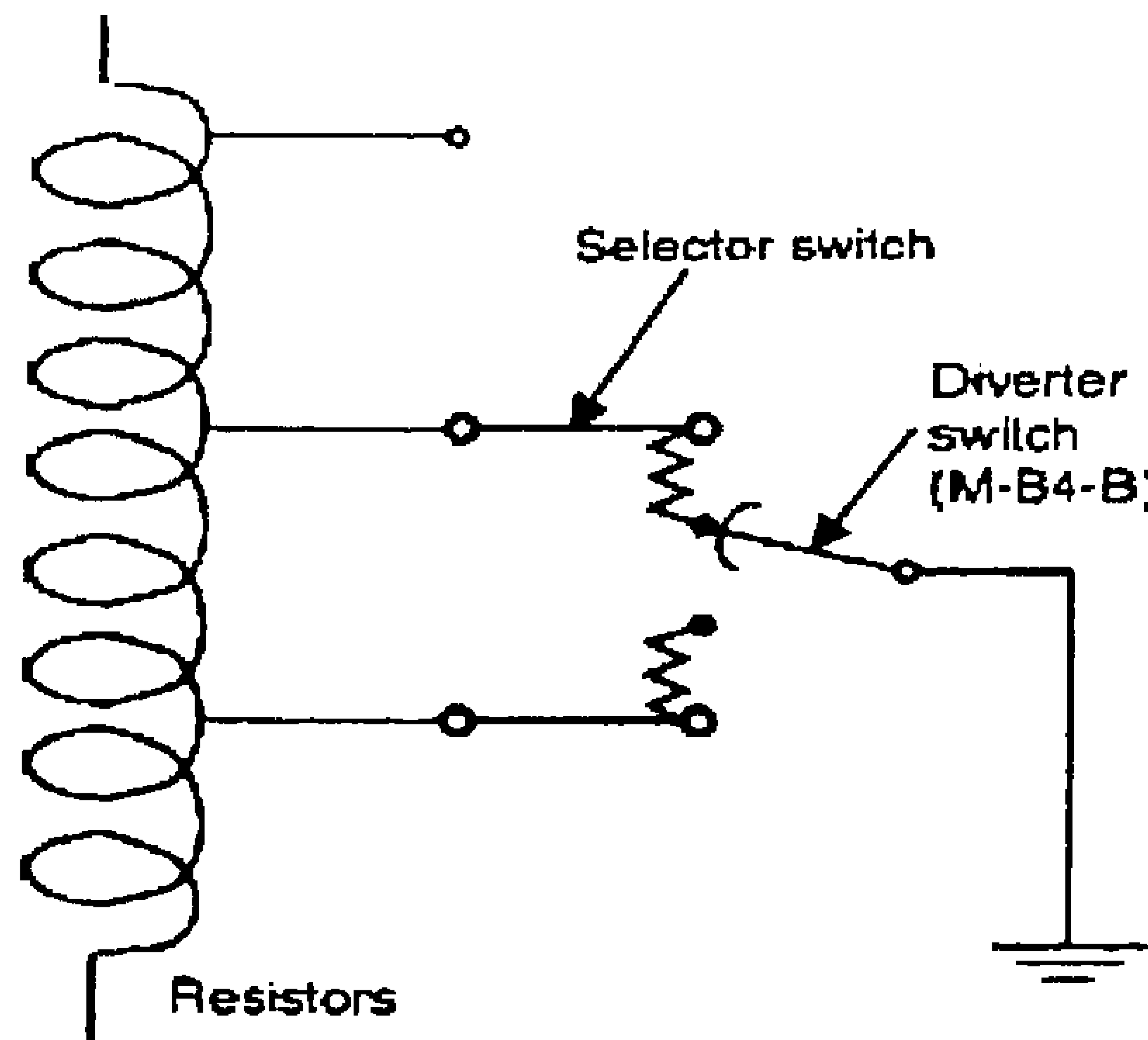
تغيير الخطوة (نقاط التوصيل)

تصميم مغير الخطوة بلا حمل (خارج الدائرة) (DETC) ، في المحـولات صغيرة القدرة ، و ذات الجهد المنخفض ، يمكن أن تتخذ نقطة توصيل طرفيـة ، التي تتطلب فصل القدرة باليد وتوصيلها إلى نقطة أخرى جديدة. وبدلا من ذلك ، فإن العملية يمكن أن تتم بوسائل مثل المنزلق أو المفاتيح.

وحيث أن نقاط التبديل مختلفة الجهد ، فانه لا يمكن توصيلها في وقت واحد ، إذ من شأن ذلك أن يحدث قصر في عدد من اللفات وسيؤدي تيـار قـصر دوار مفرط . وبناء على ذلك ، يجب أن يكون تنقطع القدرة عن الحمل الكهربي خلال وقت تغيير الخطوة. تغيير الخطوة بدون حمل (DETC) في بعض الأحيان يعمل في المحولات عالية الجهد ، على الرغم من استخدامها العادي ، فإنه لا ينطبق إلا على التركيبات التي يسمح فيها بفقدان الجهد أو يمكن التغاضي عن انقطاع القدرة. و من الشائع في شبكات توزيع القدرة ، تشمل المحولات مغير خطوة بـلا حمـل على الجانب الابتدائي لاستيعاب اختلافات وتغيرات جهد النظام في حدود نطـاق جيد ضيق حول الجهد الاسمي (المقنن). غالبا ما يتم ضبط مغير الخطـوة مـرة واحدة فقط ، في بداية التركيب ، على الرغم من أنه قد يتم تغييرها في وقت لاحق

خلال انقطاع الكهرباء المقرر أو المخصص للصيانة لاستيعاب التغير طويل الأجل في حالة النظام (زيادة الأحمال أو تغيير في تغذية الشبكة).





شكل (10-1) رسم توضيحي لمغير الخطوة أثناء التحميل

On-load tap changer

تصميم مغير الخطوة على التحميل

مغير الخطوة الميكانيكي (OLTC) ، المعروف أيضا مغير الخطوة تحـت الحمل (ULTC) ، ويتم التغييـر جيئـة وذهابـا بـين نقـاط التغييـر 2 و 3 بالنسبة لكثير من تطبيقات محولات الكهرباء ، يكون انقطاع الإمداد الكهربي خلال تغيير الخطوة هو أمر غير مقبول ، وكثيرا ما يكون المحول مـزود بميكـانيزم مغير خطوة أكثر تكلفة وتعقيدا (OLTC ، أحيانا LTC). ويمكـن أن تـصنف مغيرات الخطوة عموما إمـا ميكانيكيـة ، أو بمـساعدة إلكترونيـا ، أو تمامـا الإلكترونية.

المغيرات الميكانيكية

مغيرات الخطوة الميكانيكية تقوم بعمل توصيل جديد قبل فتح التوصيل القديم باستخدام مفاتيح اختيارية متعددة ، لكنه يتجنب خلق تيارات دوارة عالية باستخدام مفتاح تحويل diverter حيث يضع معاوقة تحويـل كبيـرة مؤقتـا diverter impedance على التوالي مع الملفات التي يحدث عليها قصر. هذا الأسـلوب يتغلب على مشاكل نقاط التوصيل المفتوحة أو التي يحدث عليها قصر كهربـائي. في مغيرات الخطوة من نوع المقاومة ، يجب أن يكون التغيير سـريعا لتفـادي التسخين الزائد لمفتاح التحويل diverter. وهناك مغيرات الخطـوة مـن نـوع المعاوقة reactance type tap changer ويستخدم تبديل المحول الـذاتي ليؤدي وظيفة وقائية مخصصة **preventive autotransformer** كما في نـوع المغيرات ذات مفتاح التحويل للمعاوقة الكهربائية diverter impedance ، و مغيرات الخطوة من نوع المعاوقة reactance يهدف عادة إلى تحمل التحميل بشكل غير محدد.

يزود مفتاح التحويل النموذجي بزنبرك قوي يعمل بموتور منخفض القـدرة (وحدة تشغيل الموتور motor drive unit (MDU)) ، وبعد ذلك يحرر سريعا

جـ ـز في عملية تغيير الخطوة . ـحـ من الشرر في نقاط التوصيل ، يعمل مغيـــر

ة في غرفة مليئة بالزيت العازل ، أو داخل وعاء سادس فلوريد الكبريـــت

SF6. مغير الخطوة من نوع Reactance-type tap changers ، عنـدما تعمل في الزيت، يجب أن تسمح بالحث inductive flyback الإضـــافي التـــي تولدها المحول الذاتي والشائع أن تشمل في زجاجة مفرغة بالتوازي مـــع مفتـــاح التحويل. وخلال عملية تغيير الخطوة ، يرفع الحث flyback الجهد بين اثنين من الأقطاب الكهربائية في الزجاجة ، وتبدد بعض من الطاقة الكهربيـــة فـــي قـــوس التفريغ مـــن خـــلال الزجاجـــة بـــدلا مـــن الـــوميض عبـــر مفتـــاح التحويـــل. بعض الشرر لا يمكن تجنبه ، و سوف تتدهور نقاط المفاتيح والزيت بـــبطء مـــع الاستخدام. ، عادة ما تعمل مفاتيح التحويل في حجرة منفصلة عن وعاء المحـــول الرئيسي من أجل منع التلوث من وعاء الزيت وتسهيل عمليات الصيانة ، وغالبـــا ما تكون مفاتيح اختيار النقاط موجودة في مقصورة أيضا. ويتم توصـــيل الملفـــات المتصلة بنقاط التبديل الى مقصورة مغير الخطوة مـــن خـــلال مجموعـــة مـــن المحطات الطرفية.

ويمكن تصميم مغير الخطوة الميكانيكي على الحمل من نوع العلم flag type كما يتضح على اليمين. تبدأ عملها في موضع النقطة 2 ، مع تغذية الحمل مباشرة عن طريق التوصيل ناحية اليمين. يتم عمل قصر على دائـــرة مقاومـــة التحويـــل Diverter resistor A ؛ ورقم باء B غير مستخدم.

في الانتقال لوضع التوصيل 3 ، يحدث التسلسل التالي :

1. المفتاح رقم 3 يغلق ، عملية بدون تحميل.
2. المفتاح الدوار يدور ، ويفصل توصيلة واحدة ويغذي تيار الحمل مـــن خـــلال مقاومة التحويل A.

3. المفتاح الدوار لا يزال يدور ، ليربط بين نقاط التوصيل (الملامـــسات) A، B . الحمل الآن يغذى عبر مقاومة التحويل ألف وباء A، B ، وتقنطـــر لفـــات الملف عن طريق نقاط التوصيل A، B.
4. المفتاح الدوار يستمر في الدوران ، ويفصل الملامس مع مفتـــاح التحويـــل B والحمل الآن يغذى عبر العاكس B وحده ، ولفات الملف لم تعـــد مقنطـــرة.
5. المفتاح الدوار يستمر في الدوران ، ويعمل قصر على العاكس B. يغـــذى الحمل الآن مباشرة عن طريق الناحية اليسرى . والمفتاح رقم باء A غيـــر مستخدم.
6. مفتاح التحويل رقم 2 يفتح ، وهي عملية بدون تحميل.

بعد ذلك يتم تنفيذ التسلسل بالعكس للعودة إلى وضع التوصيل 2.

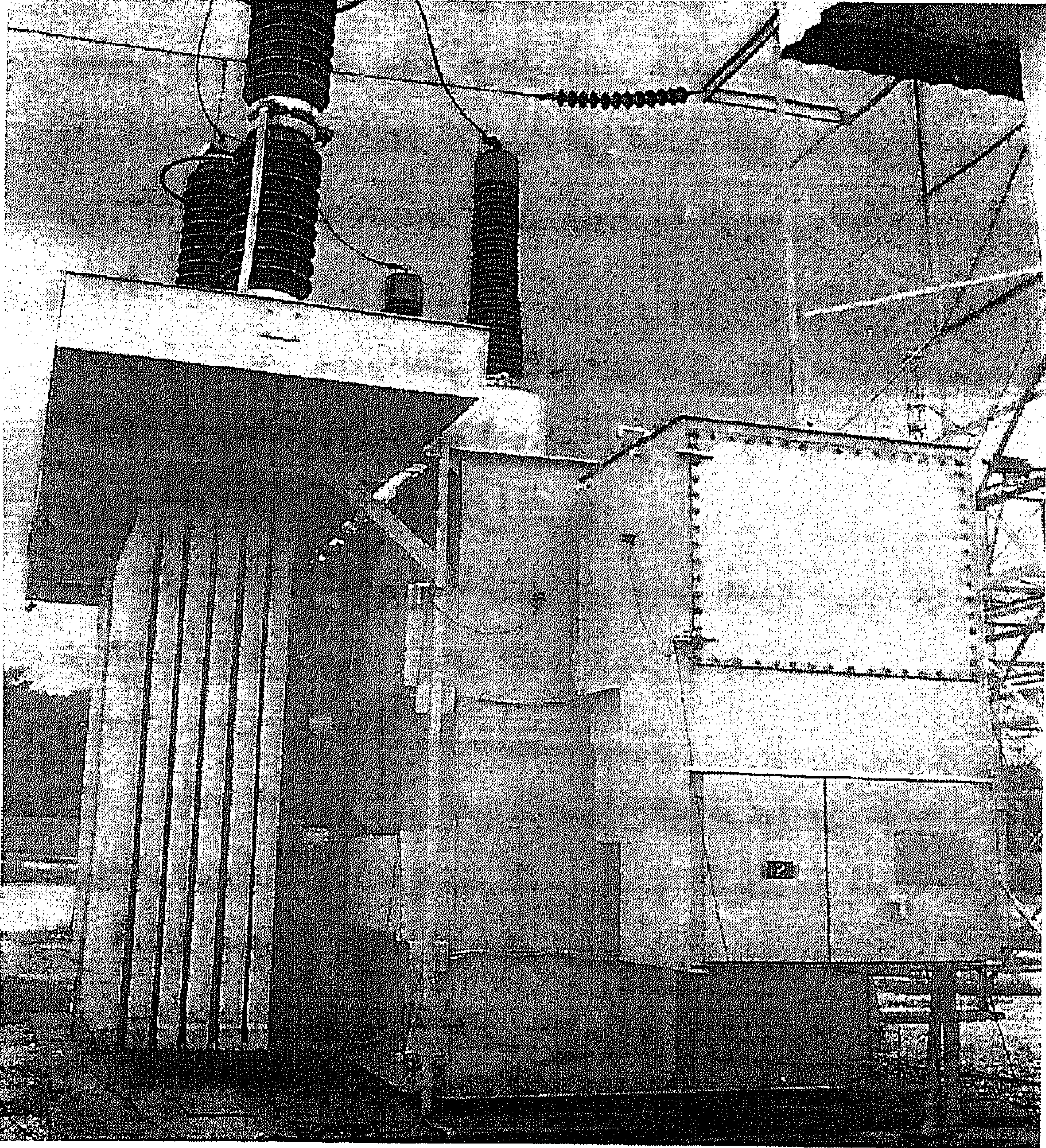
2.2.2 مغيرات الخطوة بمساعدة الثايرستور

مغيرات الخطوة بمساعدة الثايرستور **تستخدم** ليمر فيه تيار الحمل في حـــين يتم تغيير الخطوة من نقطة إلى أخرى. و هذا يمنع الشرر على نقاط الملامـــسات الرئيسية ويمكن أن تؤدي إلى مدة خدمة أطول بين أنشطة الصيانة. وعيب هـــذه المغيرات انها أكثر تعقيدا وتتطلب جهد منخفض لتغذية دائرة التحكم للثايرســـتور، كما يمكن أن يكون أكثر تكلفة.

2.2.3 مغيرات الخطوة الاليكترونية

هذه المغيرات حديثة التطوير نسبيا والتي تستخدم الثايرستور لقطع وتوصيل تيار الحمل وأيضا تمرير تيار الحمل في الحالة المستقرة على حد سواء. وعيوبهـــا هو أن جميع الثايرستورات غير الموصلة والموجودة في المغيـــر وتكـــون غيـــر مختارة لتوصيل الحمل لا تزال تبدد القدرة نظرا لتسرب التيار وصغر سعة القدرة على الصمود لمقاومة القصر الكهربائي. هذه القدرة يمكن أن تضيف ما يصل إلى بضعة كيلو وات ، وهي تتبدد كحرارة ، وتؤدي إلى انخفاض في الكفـــاءة العامـــة

للمحول ، وتحتاج لمبادل حرارة Heat Sink مما يزيد من الحجم والوزن. المغيرات الالكترونية عادة ما تستخدم مع محولات الكهرباء الصغيرة.



شكل (10-2) مغير الخطوة على حمل

مغير الخطوة على الحمل (LTC) هو جهاز فصل ميكانيكي ، فهــو أغلــى ملحقات المحول الكهربائي وهي تسبب الأعطال وانقطاع الخدمة أكثــر مــن أي عنصر آخر في محول القدرة.

وظيفة مغير الخطوة على الحمل هو تغيير نسبة التحويل دون انقطاع تيار الحمل. تصنف أعطال مغير الخطوة على الحمل على أنها كهربائية وميكانيكية ، وحرارية. أكثر من حالات الأعطال في البداية تكون ميكانيكية ثم تتطــور إلــى كهربائية و التي تحدث أساسا بسبب وجود مشاكل على الملامــسات ، مقاومــات الانتقال ، وانهيار العزل.

LTC يمكن تقييمها على الخط بدون التأثير على عملية طبيعية عن طريــق استخدام مزيج من الانبعاثات الصوتية والتقنيات الاهتزاز (بالانكليزية والعربية / وزارة شؤون المحاربين القدامى).

تقييم الانبعاثات الصوتية يبنى على أساس عدم وجــود أي نــشاط صــوتي متوقع من داخل مقصورة مغير الخطوة على الحمل LTC إذا لم يتم تشغيله ، وإذا كانت في حالة جيدة .

وتتألف تقنية الاهتزاز في الحصول على توقيع من عملية تــشغيل واحــدة لمغير الخطوة ، ويتم عمل مقارنة خصائصه (الوقت ، والسعة ، والطاقة ، ومــا إلى ذلك) مع توقيع مغير خطوة أخر تم الحصول عليها في وقت ما في المــستقبل أو وحدة شقيقة لها نفس خصائص التشغيل.

وعند استخدام مجموعة من التقنيات ، وتقييم حالة مغير الخطــوة عنــدما لا يجري تشغيلها ويقوم باستخدام الانبعاثات الصوتية في حين أن عملية التقييم خلال التشغيل تجرى باستخدام تقنية الاهتزاز.

إن طريقة تغيير نسبة التحويل للمحولات عن طريق مغيــر الخطــوة علــى الملفات هي قديمة قدم المحول نفسه. منذ مرحلــة مبكــرة جــدا ، اســتخدمت المحولات ذات نسبة التحويل المتغيرة في حدود معينة، قد استخدمت لنقل الطاقة

الكهربائية ، حيث أن هذه هي أبسط طريقة للتحكم في مستوى الجهد وكذلك القدرة الفعالة وغير الفعالة في الشبكات الكهربائية.

وفي بداية تطوير مغيرات الخطوة للمحولات كان يكفي أن يكون هناك نقاط التجزئة tappings موصلة خارج وعاء المحول ، والتي كانت موصولة وفقا لضرورة للشبكة.

وهناك طريقة مريحة أكثر لتوصيل نقاط التجزئة باستخدام مفاتيح تسمى "خارج الدائرة" أو "مغيرات عدم التحميل " -- التي يمكن استخدامها إلا أن يكون المحول مفصول عن التغذية الكهربائية.

ومن الواضح أن هذا الجهاز البسيط يسمح فقط بين الحين والحين بتصويب نسبة تحويل المحول. وبدونها لا يكن من الممكن التحكم في.هبوط الجهد الكهربائي الناجم عن التغيرات في تحميل الشبكة.

لحل هذه المشكلة ، هناك حاجة إلى أجهزة التحويل التي تسمح بهذا التغيير لنسبة التحويل للمحولات تحت ظروف التحميل، أي دون انقطاع التيار للحمل ، و الأجهزة التبديل هذه تسمى اليوم "مغيرات الخطوة على حمل" (OLTC) ، أصبحت ضرورة ملحة وتم استخدامها في المحولات منذ عام 1920. حيث اتخذ استهلاك الطاقة اتجاها تصاعديا حاد ، الأمر الذي يتطلب التوسع والربط للشبكات الكهربائية.

التطور السريع جدا الذي حدث ، في غضون سنوات قليلة ، والحلول التي كانت مرضية تماما في شأن سلامة التشغيل والكفاءة للمعدات. ان تطوير مغيرات الخطوة على حمل (OLTCs) ، جاء على مر السنين بسبب الزيادة المطردة في الجهد و القدرة لنقل الطاقة الكهربائية.

إن استخدام مغيرات الخطوة على حمل يساعد على تحسين كفاءة التشغيل والنظم الكهربائية بشكل كبير وهذه التقنية وجدت القبول في جميع أنحاء العالم. وبصفة عامة فإن النسبة المئوية للمحولات مزودة بمغيرات الخطوة على حمل

OLTCs يتزايد مع تزايد كثافة التحميل وترابط الشبكات الكهربائية. وبالإضـــافة إلى ذلك مغيرات الخطوة على حمل OLTCs تطبق في العمليات الصناعية كمـــا تستخدم المحولات كوحدات تنظيم في الصناعات الكيميائية والمعدنية وصـــناعات هامة أخرى ومجالات التطبيق.

تتراوح عمليات تشغيل مغيرات الخطوة من حوالي 300000 في السنة فـــي حين أن التيار المقنن مجموعة من 50 إلى نحو 3000 أمبير.

اليوم أصبحت حالة مغير الخطوة على حمل قد بلغ من المستوى العالي مـــن الموثوقية إلى أنها آمنة لدرجة أن متوسط العمر الميكانيكي المتوقع يعادل عمر أو مدة خدمة المحول.

قد تكون هناك بعض الاستثناءات في بعض التطبيقـــات الـــصناعية لعمليـــات المحولات. ولكن ، حتى في هذه التطبيقات تبين التجربة أنه مع الصيانة الـــسليمة يمكن الحصول على عدة ملايين من العمليات.

ويبين الجدول أدناه دراسة استقصائية نموذجية مـــن عـــدد مـــن العمليـــات لمختلف التطبيقات.

Power Transformer	Transformer data			No of operation OLTC Per Year		
	Power ring	Voltage ring	Current ring			
	MVA	KV	A	Min	Mean	Max
Generator	100 -1300	110 - 765	100 - 2000	500	3000	10000
Interconnection	200 -1500	110 - 765	300 - 3000	300	5000	25000
Distribution	15 - 400	60 - 525	50 - 1600	2000	7000	20000
Electrolysis	10 - 300	20 - 110	50 - 3000	10000	30000	150000
Chemistry	1.5 - 80	20 - 110	50 - 1000	1000	20000	70000
Arc furnace	2.5 - 150	20 - 230	50 - 1000	20000	50000	300000

والمشكلة التي يتعين حلها عند تغيير مغير الخطوة تحت الحمل هو كيفية ربط نقاط التجزئة من ملفات المحول تباعا لنفس أطراف الخروج دون انقطاع تيار الحمل.

وخلال عملية نقل تحميل التغذية بين النقاط المتجاورة، كلتا النقطتين يجب أن تكون متصلة مؤقتا بأطراف الخروج.

لتجنب حدوث قصر (ماس) كهربائي بين اللفات ، يمكن وضع معاوقات كهربائية انتقالية ،و التي يمكن أن تكون مفاعلات أو مقاومات. اثنين من المبادئ الأساسية التي تم اختراعها والتي لا تزال تستخدم حتى اليوم : مفاعل بطيء التبديل والمقاومة المفصولة بسرعة عالية. وأصبحت كل من النظريتين تطبق في المغيرات والتي لها موثوقية عالية.

مغير الخطوة من نوع المفاعل OLTC لها أصل التطوير في الولايات المتحدة الأمريكية ، ولكن أيضا كانت هناك طلب للحصول على براءة اختراع في ألمانيا في عام 1905 و 1906. ونظرا لحقيقة أن نظرية تبديل المفاعل تسبب 90 درجة تحول في الطور بين تيار الفصل و جهد الانتعاش recovery voltage الناشئ على مسافة التبديل ، OLTC نوع المفاعل هو أقل ملائمة للخطوة كبيرة الفولتية.

وبالإضافة إلى ذلك فإن تكاليف المفاعلات الانتقالية تزداد زيادة كبيرة مع ارتفاع فولتية الخطوة.

وهكذا فإن نظرية مفاعل التحويل فقدت أهميتها على مر السنين فقد كان لها أهمية ملحوظة في بداية تطوير OLTC. في أواخر 1940 تخلي العديد من المصنعين عن إنتاج مغير الخطوة على الحمل OLTCs القائم على نظرية التبديل. ولكن ، لا تزال تستخدم في الولايات المتحدة في نطاق واسع و مغيرات الخطوة تحت الحمل من نوع المفاعلات لا تزال قيد الإنتاج.

مغيرات الخطوة تحت الحمل فائق السرعة من نوع المقاومـــة فـــي الأصـــل اختراع الدكتور يانسن وهي عبارة عن مفتاح التبديل و جهـــاز اختيـــار النقـــاط. وحصلت على براءة اختراع في عام 1926. معاوقة الانتقال الكهربائية تنفذ مـــع المقاومة ويكون التيار و جهد الانتعاش في نفس مرحلة الطور. هذا يخفـــف مـــن بداية القوس عند فصل التيار .

إن مقاومات الانتقال تصمم بحيث تحمل لفترة قصيرة فقط من الوقـــت التـــي تمكن من الاستخدام الاقتصادي لمغيرات الخطوة تحت الحمل في حالـــة ارتفـــاع فولتية الخطوة والقدرة.

على الرغم من أن نظرية المفاعل أثبتت نفسها ،فان تطبيقها قاصـــر علـــى الجهد الأحادي ، في حين أن مغيرات الخطوة تحت الحمل القائمـــة علـــى مبـــدأ المقاومة تسود في حالة الجهد العالي أو في مجال التطبيقات الخاصة مثل محولات الجهد العالي للتيـــار المـــستمرHVDC ، محـــولات تحويـــل الطـــور Phase-Shifting Transformers أو محولات الجهد الفائق EHV .

مغيرات الخطوة تحت الحمل القائمة على مبدأ المفاعل في هذه المجـــالات لا يمكن تطبيقها إلا في محولات التعزيز Booster Transformers. والذي جعـــل تطبيقه أكثر صعوبة في بالنسبة إلى نقـــل الـــوزن والحجـــم وكافـــة الاعتبـــارات الاقتصادية بالمقارنة مع المغيرات من نوع المقاومة.

الفصل الحادي عشر

منتجات حماية المعدات

الفصل الحادي عشر
مُنتَجــات حمـــايةِ المعـــدات
Asset Protection Products

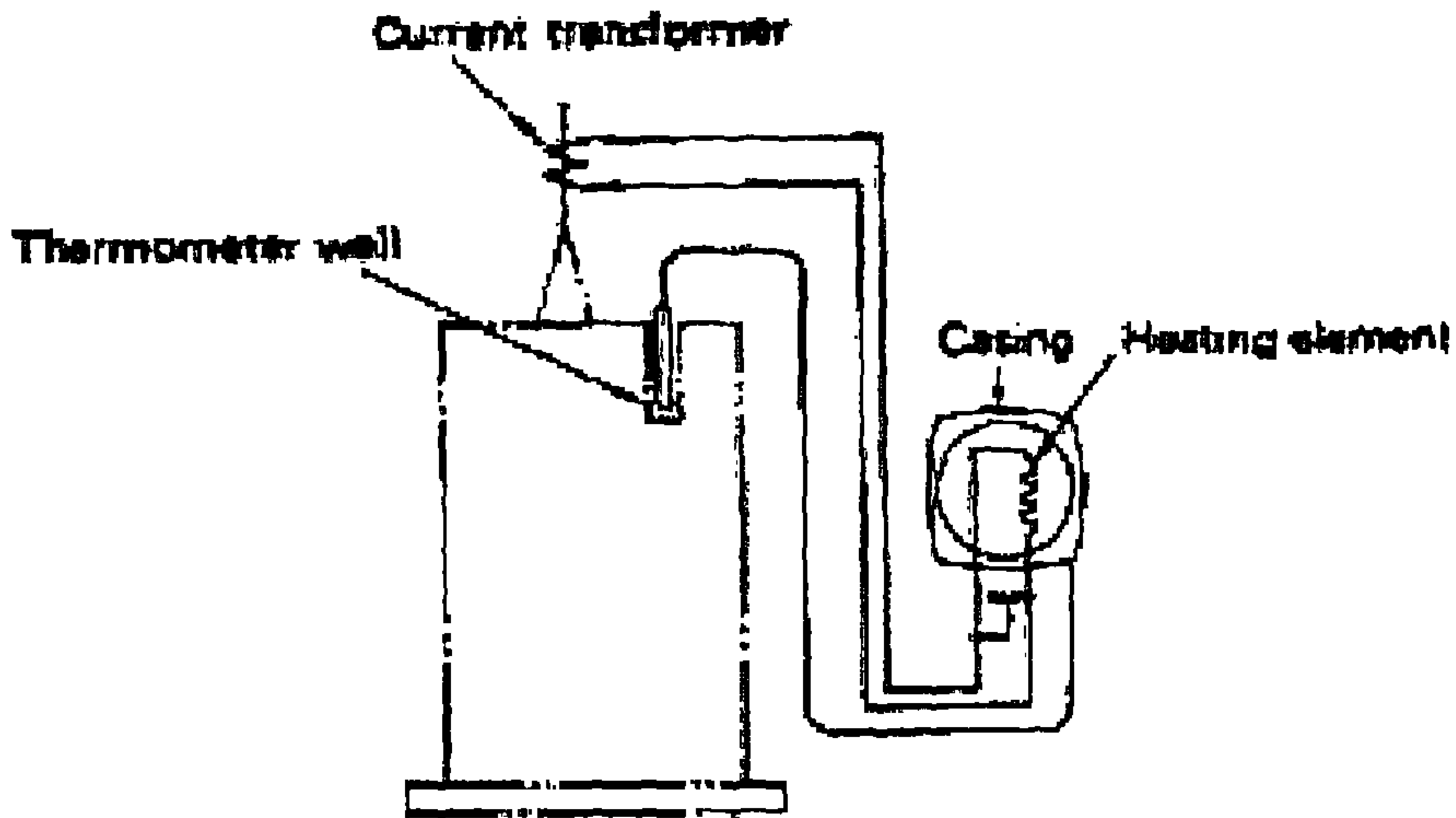
1- جهاز قياس درجة الحرارة

وهناك مقياس الحرارة لقياس درجة حرارة واحدة على الأقل في جزء منتقى من جهاز يعمل كيربائيا (المحول) ومغمور في حاوية ويشمل تمديد ممر صعودا كقناة للاتصال الداخلي مع الحاوية ، ومكثف بيان يشير إلى تحديد الغرفة الأولى للاتصال مع قناة الوصل الأولى. ومكثفات البيان تشمل المواد العازلة الأولى ، والسائل الأول غير موصل كهربائيا وله معامل التمدد الحراري محدد ؛ السائل الأولى يكيف ليتم التصرف على الأقل في جزء من حاوية ، وعلى الأقل في جزء من الغرفة الأولى وأول ممر ، ذلك بحيث أنه على الأقل يقع جزء من المادة العازلة الأولى تتألف من جزء من السائل الأول. مكثف إشارة يحدد الغرفة الثانية ، والثانية تشمل المادة العازلة و السائل الثاني الغير موصل كهربائيا وله معامل التمدد الحراري معروف ، ويتم تثبيته على الأقل في جزء من الغرفة الثانية ، وقناة اتصال الثانية مع الغرفة ثانية ، و القناة الثانية تكون مغلقة في نهاية واحدة منها. أي تغيير في درجة الحرارة في السائلة الأول سوف يسفر عن حدوث تغيير في حجمه في الغرفة الأولى ، وبالتالي سعة مكثف البيان ، ذلك أن أي اختلاف تشغيلي في سعة المكثفات سوف يكون متناسبا مع تغير درجة الحرارة في الجزء المراد قياس درجة حرارته.

مبين درجة حرارة السائل هي المستخدمة لقياس درجة حرارة الزيت، بوصفه معيار الممارسة العملية. مع حساس للكشف عن درجة الحرارة يركب على غطاء التنك (الوعاء) ومع وضع المؤشر و تركيبه في أي موضع من السهل مراقبته في

الجهة الأمامية للمحول ، وكاشف درجة الحرارة يستخدم لقياس درجـــة الحــرارة القصوى للزيت.

وقد يدعم الجزء المبين من الجهاز، بملامس إنذار ، ومؤشـــر يبـــين الحـــد الأقصى لدرجة حرارة ، ويصمم الجهاز بحيث يكون محكم البنـــاء مـــع مـــاص للرطوبة الواردة فيه ؛ وبالتالي ، لا يوجد أي إمكانية لتجمع الرطوبة على الزجاج الداخلي حيث سيكون من الصعب مراقبة المؤشر كما هو مبين في الشكل رقـــم. (2-11). وعلاوة على ذلك ، خلال القياسات البعيدة وتسجيل درجات الحرارة من الزيت ، وعندما يتطلب الأمر ، يركب ملف بحث وله سلك نحاسي يلـــف علـــى بكرة المستخدمة لقياس درجة الحرارة من خلال التغييرات في مقاومته.



الشكل (1-11) تركيب مبين درجة حرارة الملفات

جهاز مرحل مبين درجة الحرارة للملفات - مؤشر التتابع

مؤشر تتابع قياس درجة الحرارة هو مؤشر تقليدي لدرجة حـــرارة الزيـــت ويكون مستكمل مع عنصر تسخين كهربائي.

مؤشر التتابع يقيس درجة حرارة في الجزء الأكثر حرارة من ملفات المحول. وإذا كان محددة، فان المرحل يمكن أن يكون مزود مقياس جهد للدقة مع نفس خصائص ملف البحث للقياس البعيد.

نظام الاستشعار درجة الحرارة يملئ بالسائل ، والذي يتغير في حجمه مع اختلاف درجة الحرارة. لمبة (فقاعة) الاستشعار توضع في مقياس الحرارة في غطاء تنك المحول لتحس بأقصى درجة حرارة للزيت . عناصر التدفئة مع المقاومة المطابقة matching resistance تغذى بالتيار من المحول المرتبطة بملفات المحول عند التحميل ، وتعويض ذلك مؤشر على أن ارتفاع درجة الحرارة عنصر التدفئة من يتناسب مع زيادة درجة الحرارة للملفات عن الحد الأقصى لدرجة حرارة الزيت.

ولذلك ، فإن نظام القياس المذكور هنا يبين كل من ارتفاع درجة الحرارة للملفات وزيادتها عن الحد الأقصى لدرجة حرارة الزيت ودرجة الحرارة القصوى للزيت. في هذه الطريقة يشير الجهاز إلى درجة الحرارة في الجزء الأكثر حرارة من ملفات المحول.و يتم ضبط المقاومة المطابقة لعنصر التدفئة مسبقا في المصنع.

مقياس الحرارة المباشرDirect mount thermometers

التطبيق

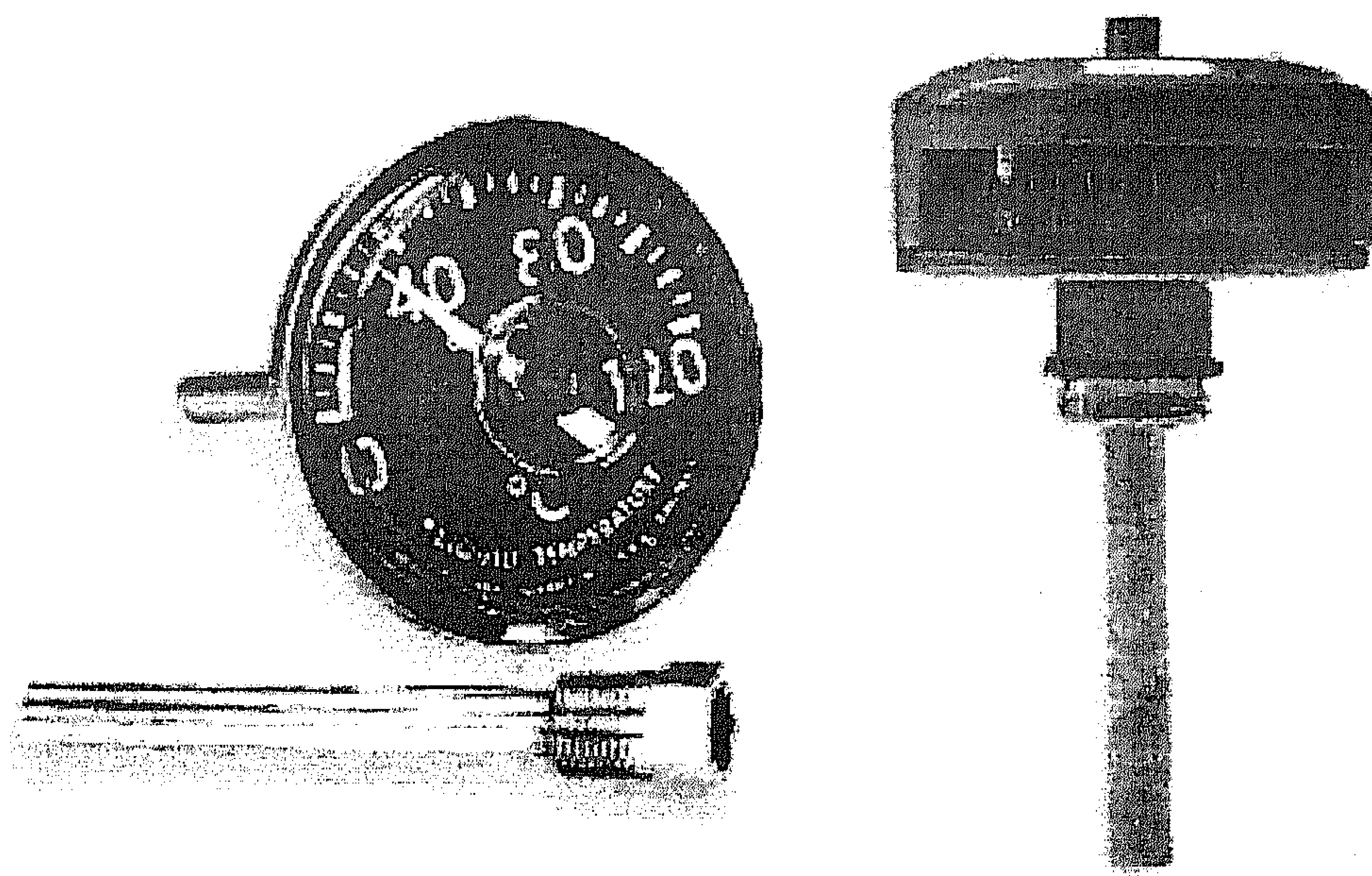
ويستخدم مقياس درجةِ الحرارة المباشر حيث تكون نقطةِ المقياسِ (البئر أو جيب) جانبَ الجهازِ(المحول) ويُمْكِنُ أَنْ يُنْظَرَ إليه بسهولة .

الميزّات

- مقياس ثنائي معدني بمؤشرِ الأقصى قابل لإعادة الضبط resettable
- 4o بوصةِ (100 مليمتر) وجه وجهِ
- لا تُتطلّبْ مصدر قوى للوظيفةِ

الخيارات

- درجة حرارة مُخْتَلِفة المعدلات
- أسلوب اتصال بالخزان وطولِ وقطرِ كابل القياس، متوافق جيدا
- خَتمَ أو عدسةً تهوية



شكل (11−2) مبين قياس درجة الحرارة المباشر

مبين قياس درجة الحرارة المباشر بالكابلِ المرن

Direct mount thermometers with flexible probe

التطبيق

مقياس درجةِ الحرارة بالتحكم المتكامل ووظائفِ الإنذار.

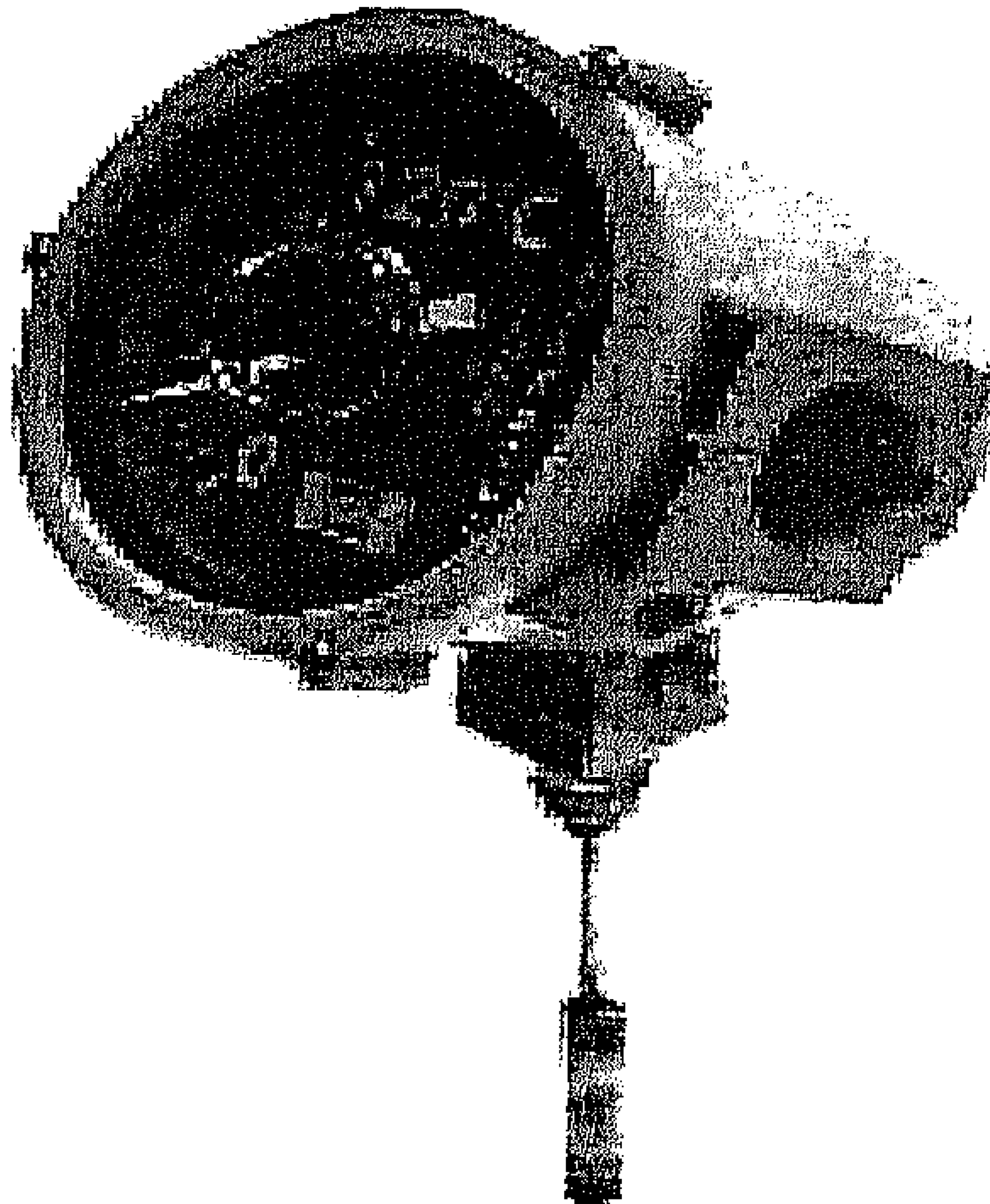
يصممّ للاستعمال حيث نقطةِ المقياسِ (البئر أو الجيب) جانباً أو قمة الجهازِ ويُمْكِنُ أنْ تُنْظَرَ إليها بسهولة.

المميزّات

- مقياس أنبوب بوردون بمؤشرٍ يمكن إعادة ضبطه.
- رئيس مرن لتطبيقاتِ الجبلِ الجانبيةِ أو العلياِ.
- بحدود مفتاحين قابل للتعديلِ بالكامل (ملامسين) ومفتاح واحد إضافي للتحكم والإنذار .
- 5 بوصةِ (130 مليمتر) وجه تدريج و بمدى زاويِ 120 ° لسهولة الرؤية

الخيارات

- معدل درجة حرارة للزيت (سائل) أو الملفات (محاكاةُ الملفات تتطلب بئر تسخين أو لوحةَ حرارية) .
- بحدود 3 مفاتيحِ .
- أسلوب اتصال بالخزان وطولِ كابل القياس، متوافق جيدا .
- اتصال كهربائيِ ونوعِ وسلكِ توصيل و له ألوان ألوان .



شكل(11-3) مقياس الحرارة المباشر ِ بالكابلِ المرنِ

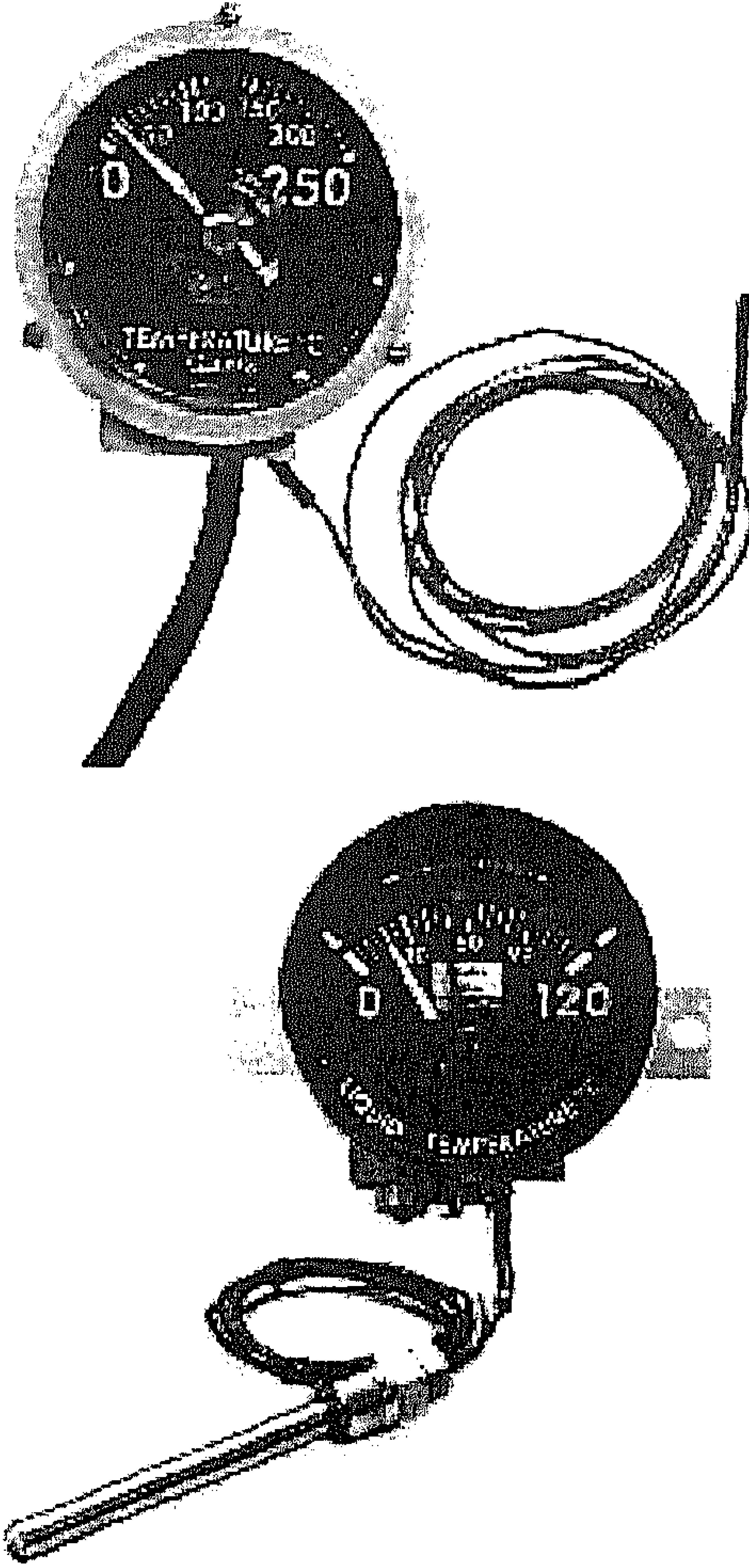
مقياس الحرارة البعيدةِ Remote mount thermometers

التطبيق

مقياس درجةِ الحرارة بالتحكم المتكامل ووظائفِ الإنذار .
يصممّ للاستعمال حيث تكون نقطةِ المقياسِ (البئر أو جيب) لا يُنْظَـرُ إليهـا بسهولة وتتطلّب القياس عن بعد.

الميزّات

- أنبوب بوردون مبنية على مقياسَ شعريَ مَع المؤشر الأقصى قابل للضبط
- بحدود مفتاحِين للمستخدم قابلة للتعديلِ (ملامسات) و واحد مفتاح إضافي ثابت للتحكم و الإنذار .
- 5 بوصةِ (130 مليمتر) وجه مدرج بمدى وجـهِ زاوي 120 ° لـسهولة النظر .
- انزواء يُمْكِنُ أَنْ يستعمل في المحولاتِ من النوعِ الجافّ .
- الخيارات .
- معدل درجة حرارة للزيت (سائل) أو الملفات (محاكاة الملفات تتطلـب بئر تسخين أو لوحةَ حرارية) .
- بحدود 3 مفاتيح .
- أسلوب اتصال بالخزان. طول الكابل، ومتوافق جيدا .
- طول شعري، غلاف مادي ووقائي .
- اتصال كهربائي وسلكِ توصيل ألوانِ .

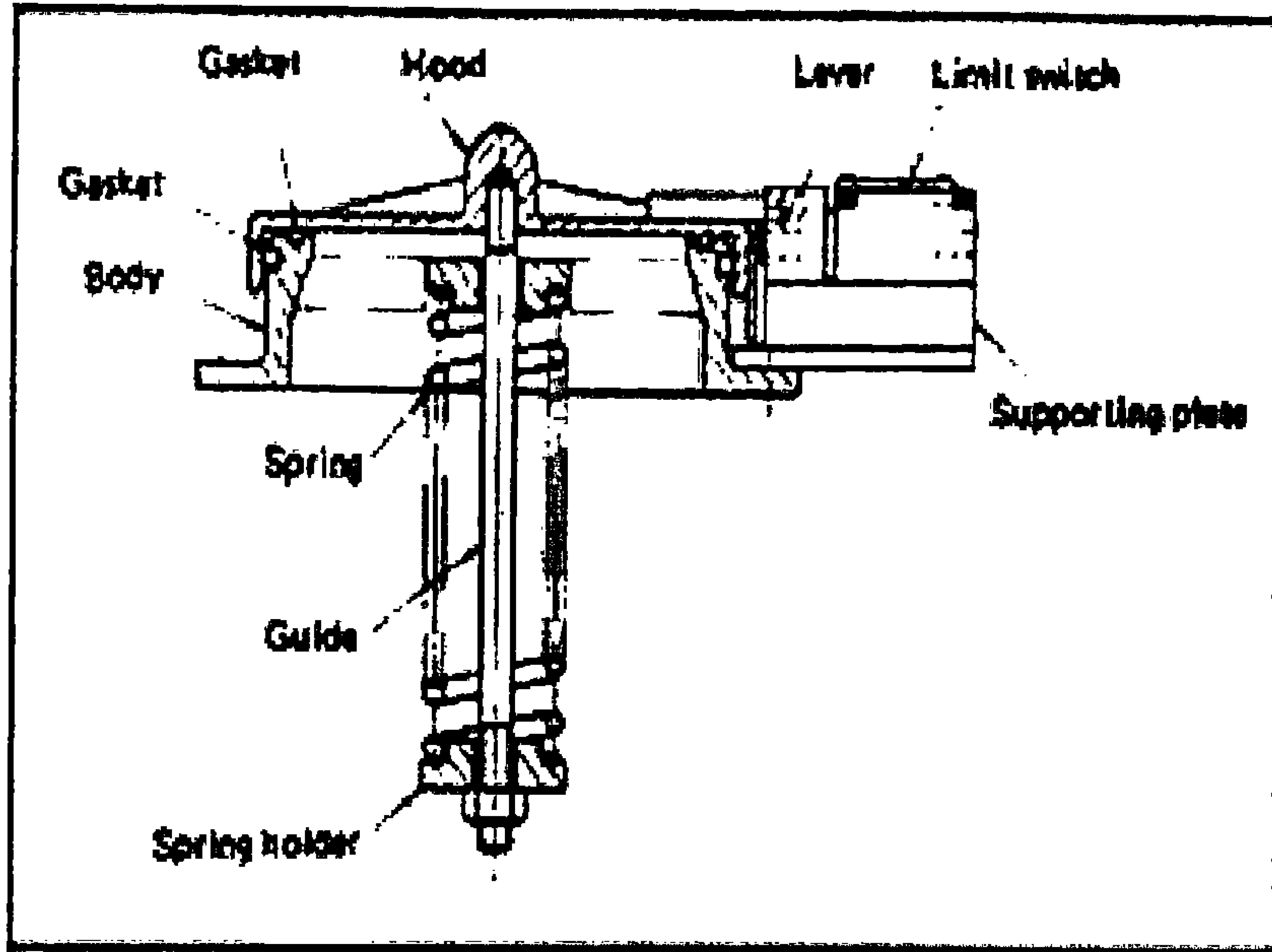


شكل (11-4) مقياس درجةِ الحرارة عن بعد Remote mount thermometers

جهاز (وسيلة) تنفيس الضغط Pressure Relief Device

وهناك جهاز لتنفيس الضغط مرتبط بمحولات القدرة من نوع خزان الزيت ، وسيلة تخفيف الضغط لها صمام على شكل قرص يستجيب لضغط الغاز المفرط النامي في التنك وليريح التنك من ظروف الضغط المفرط ليسلط مسمار(دبوس) خلال غطاء الجهاز لتحريك مفتاح إنذار ، ويلون المسمار بألوان زاهية وأيضا يعتبر بمثابة إشارة إنذار مرئية واضحة.

وعند قياس الضغط في الخزان تصل إلى قيمة غير عادية تصل الى 0.35-0.7 كجم / سم2. عندها تبدأ وسيلة تخفيف الضغط في تفريـــغ الزيـــت تلقائيـــا. عندما ينخفض الضغط في الصهريج إلى ما دون الحد الأقصى، فان الجهاز يعيـــد الضبط تلقائيا لمنع تسرب مزيد من الزيت مما هو مطلوب تصريفها.



الشكل (5-11) تركيب جهاز تنفيس الضغط

تركيب الجهاز

الخليط الذي يضم محولات الطاقة الكهربائية بما لها من خزان له فتحة أعلى الجدار والتي تحتوي على سوائل التبريد التي تنغمر فيهـــا عناصـــر المحـــول ؛ ووسيلة تنفيس الضغط لها جسم حلقي مثبت على جدار الخزان خـــلال الفتحـــة ، جسم التدعيم له شكل حلقي في نهاية الجدار وله فتحة متحدة المحور مـــع فتحـــة التنك ، طوق حلقة a gasket ring تستقر في نهاية الجدار نحو الأعلى و بـــارز قليلا فوق مستوى نهاية الجدار ، و صمام قرصي يركب على الطـــوق و متحـــد

المحور مع الفتحة العليا ، زنبرك مثبت بشكل محوري مع صمام. يضغط على الصمام فيما يتعلق بالطوق ، الصمام يمتد شعاعيا بعد الطوق متباعدا فوق نهاية الجدار ولها شفة محيطة مثبتة على الصمام في فترات متقاربة المحيطة بالنسبة لجسم التدعيم .

أدوات تنفيس الضغطِ الصغيرة Small pressure relief devices

التطبيق

لحمايةِ زيادة الضغط داخل المحولاتِ. مغيرات الخطوة على الحملِ وكافة الأجهزة الكهربائية المملوءة بالسائلِ.

الميزّات

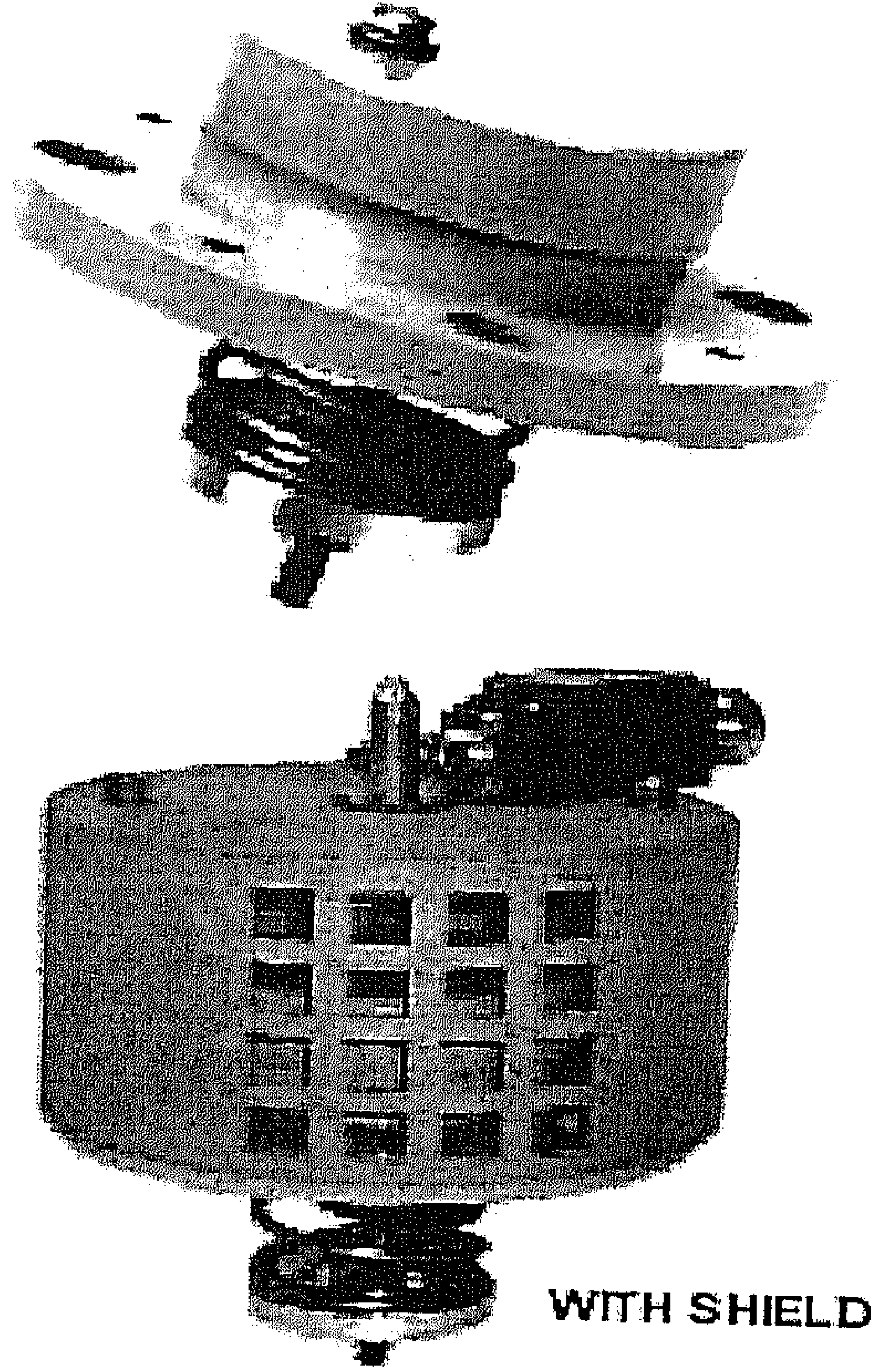
- نماذج قياسية لَها ذو قطعة نحاس واحدة ومغلقة مع زنبرك مـنِ الحديد المقاوم للصدأِ spring stainless steel ، حلقة سحبِ وسدادة دائريةِ.
- نماذج لها ضغطِ ثابت أو قابل للتعديلِ ومتوفرة بمعدلات التدفق القصوى منْ 35 إلى 200 SCFM
- تصميم غاطس ثنائي السدادة (منع تسرب) و مصنوع كليّاً مـنْ الحديد المقاوم للصدأِ للتطبيقاتِ الخاصّةِ

الخيارات

- تشغيل ضغطِ وإغاثةِ يَغْمران نسبةً
- أسلوب مؤشرِ بصري
- اتصال بالخزان والأنظمةَ منع تسرب



شكل (11-6) وسيلة تنفيس الضغط صغيرة الحجم



شكل (11-7) وسيلة تنفيس الضغط المتوسطة الحجم

أدوات إغاثةِ(تنفيس) الضغطِ الكبيرةِ LPRD Large pressure relief devices

التطبيق

لحمايةِ زيادة الضغط داخل المحولاتِ، مغيرات الخطوة على الحملِ وكافة الأجهزة الكهربائية المملوءة بالسائلِ.

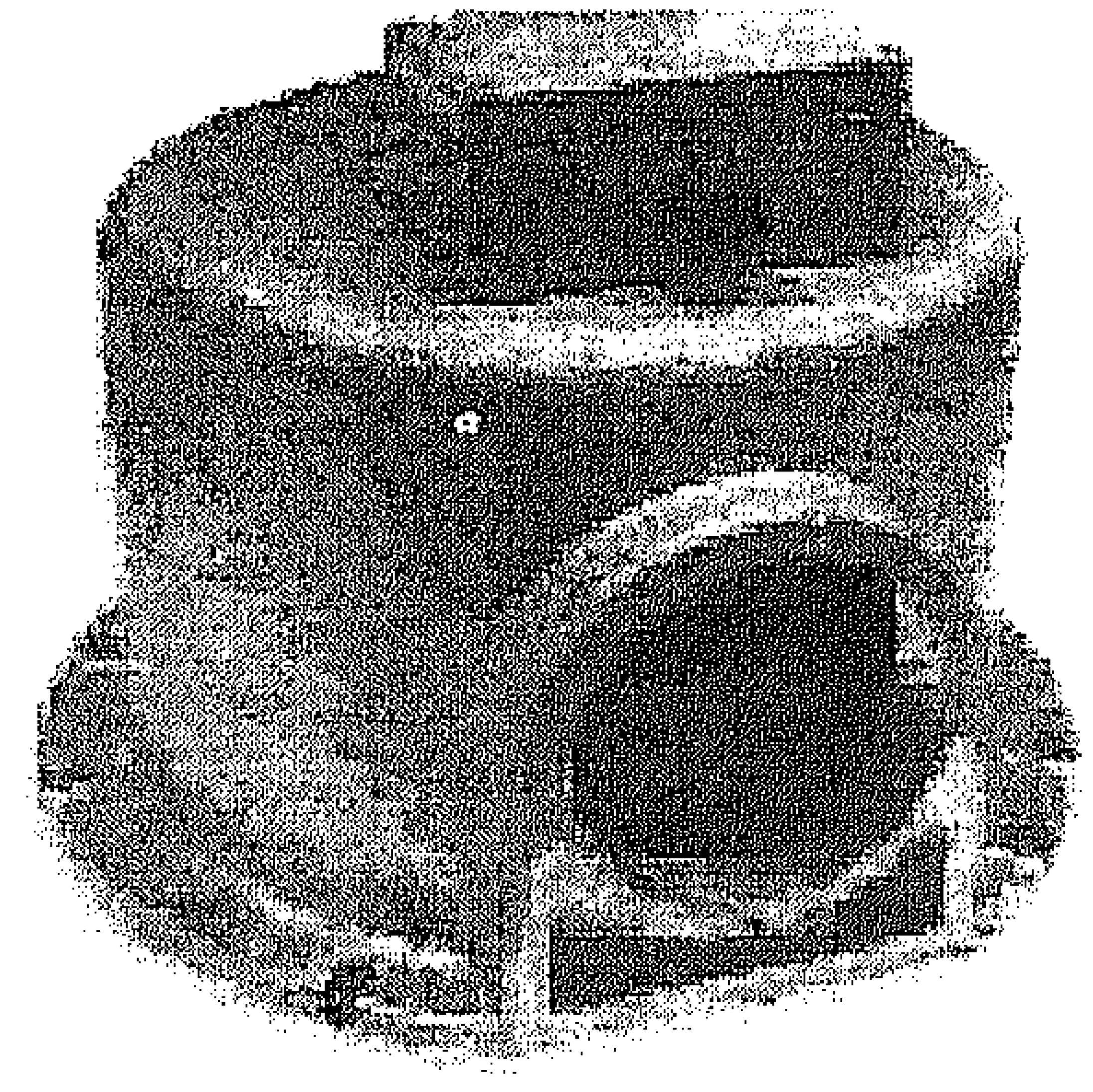
الميزّات

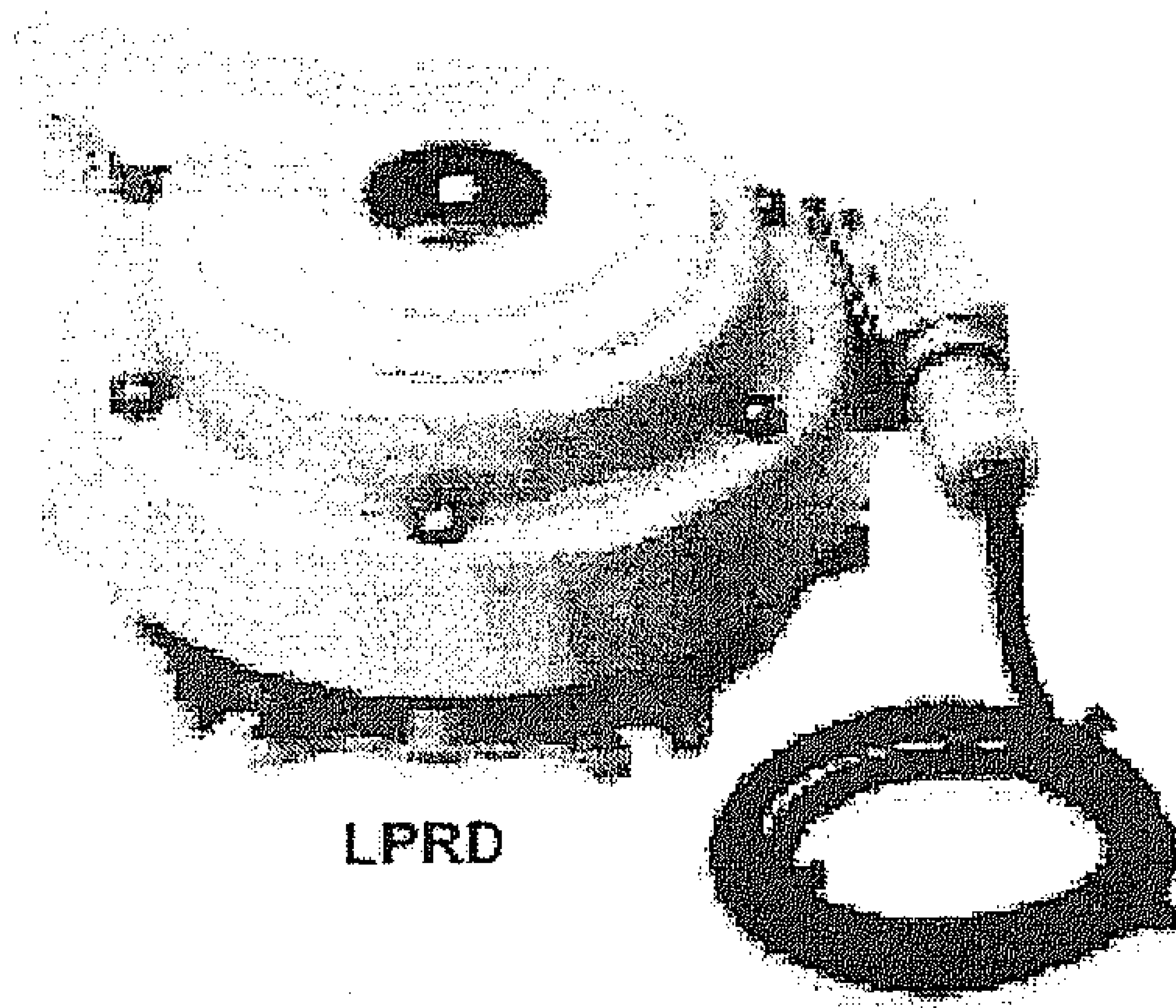
- حشيةً ثنائيةً تكبر قوةَ زيادة الضغط للتشغيل الموثوق
- مفاتيحِ إغلْاق أَو مفاتيحِ مؤقتةِ للإنذار والتحكم
- أجهزة وصمامِ تشغيل حديد مقاوم للصدأ ، زر إشارةِ تشغيل

- حديد مقاوم للصدأ أو ألمنيوم بنهايةِ قلنسوةِ التآكلِ المقاومةِ وطلاء طويـــل البقاء .

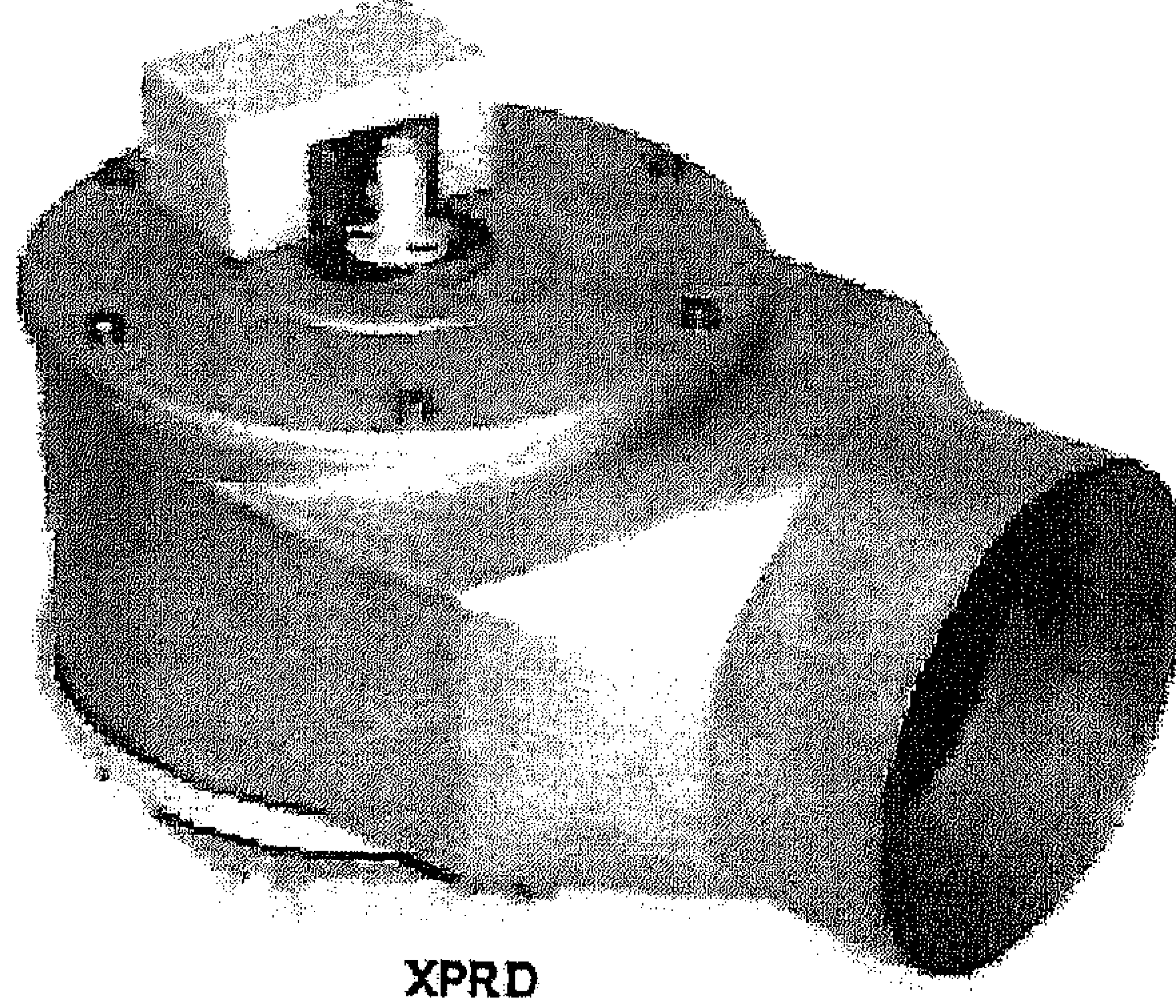
الخيارات

- تشغيل ضغطِ ومادّةِ وحشيةِ ونوعِ، يَغطّي مادّةً، أسلوب ولون مؤشرِ .
- مفاتيحِ إغْلاق مؤقتةِ (أحادي أو ثنائي القطبِ ، ملامسات تيـــار مـــستمر عالي، أو ملامسات ذهبية منخفضة التيار) .
- نظام توصيل كهربائيِ .
- نظام استنزاف الغاز .
- درع اتجاهي للسَيْطَرَة على الزيت الساخنِ وإطلاق الغازِ .





شكل (11-8) أدوات إغاثةِ (تنفيس) الضغطِ الكبيرةِ



شكل (11-9) أدوات إغاثةِ(تنفيس) الضغطِ الكبيرةِ جدا Extra protection relief devices

مفاتيح الفراغَ أو الضغطَ Pressure or vacuum switches

التطبيق

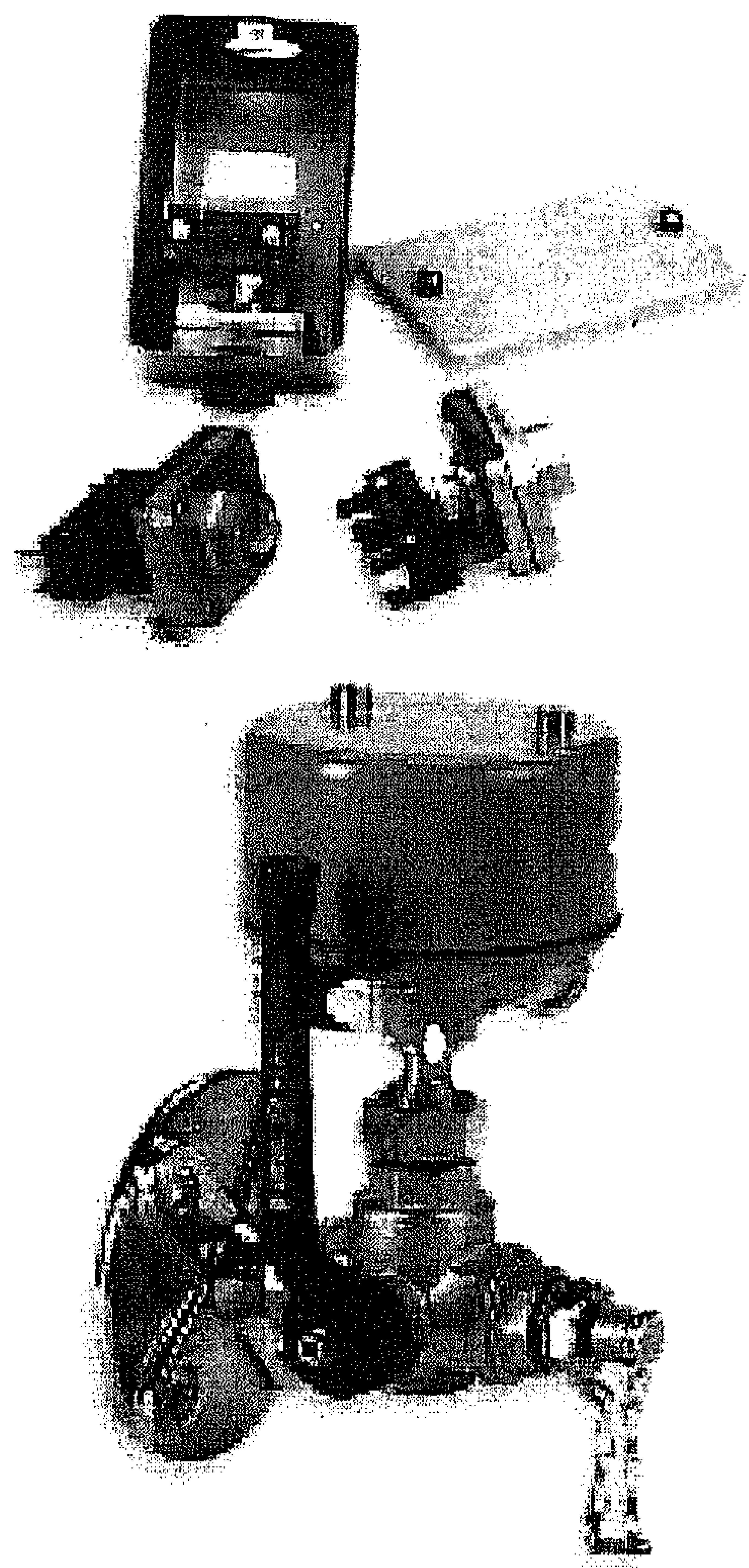
تستخدم للإنذار الناشئ عن الضغطِ أو الفراغِ في المحولاتِ المُجهّزة بأنظمةِ نتروجينِ والأجهزةِ الكهربائية الأخرى ذات العلاقةِ.

الميزّات

- إنذار موثوق للضغطِ المتصاعدِ(المرتفع) أو الهابطِ(المنخفض)
- ترتيبات عديدة متوفرة للعديد مِنْ التطبيقاتِ
- متوفر بصمامِ القطعِ لعمل اختبارات الموقع للمفاتيحِ

الخيارات

- تشغيل ضغطِ أو فراغ وتشغيل عند الضغطِ / الفراغ المتصاعدِ أو الهابط
- بحدود 3 مفاتيحِ، وصلة اختبار المفتاحِ
- أسلوب تثبيت



شكل (11-10) مفاتيح الفراغَ أو الضغطَ

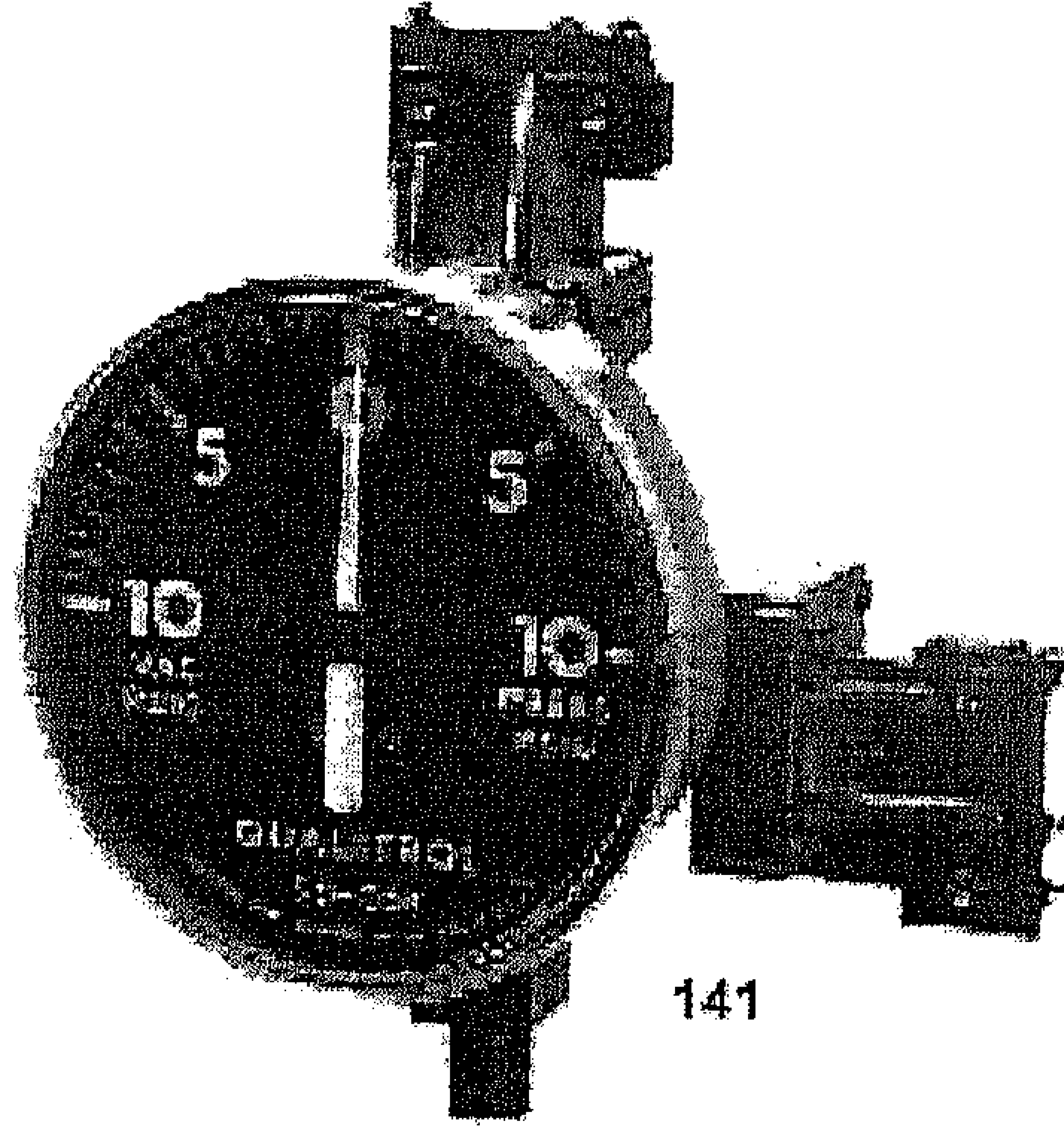
وهناك نوع أخر من مفاتيح الفراغَ أو الضغطَ ويستخدم في تطبيقات أنظمة الإنذار للضغطِ / الفراغِ على المحولاتِ المُجهّزة بأنظمةِ نتـــروجينِ العامَّـــةِ والأجهـــزة الكهربائية الأخرى ذات العلاقةِ ، وهذا الجهاز مزود بمخرج اخذ عينات وتنفـــيس الضغط.

الميزّات

- إقْلاق موثوق للضغطِ المتصاعدِ أو السَاقِطِ
- أنابيب متفرعة عديدة وترتيبات متوفر للعديد مِنْ التطبيقاتِ

الخيارات

- تشغيل ضغطِ أو فراغ وعمليةِ على الضغطِ المتصاعدِ أو السَاقِطِ / فراغ
- إشارة، إغاثة ضغطِ، وأخذ عينات
- أسلوب منوّع، مضمّن مفتاحِ وأسلوبِ متزايدِ
- بحدود مفتاحين



شكل (11-11) مفاتيح الفراغَ أو الضغطَ المزودة بمخرج اخذ العينات

مبينات (مؤشرات) الفراغَ أو الضغطَ Pressure or vacuum indicators

التطبيق:

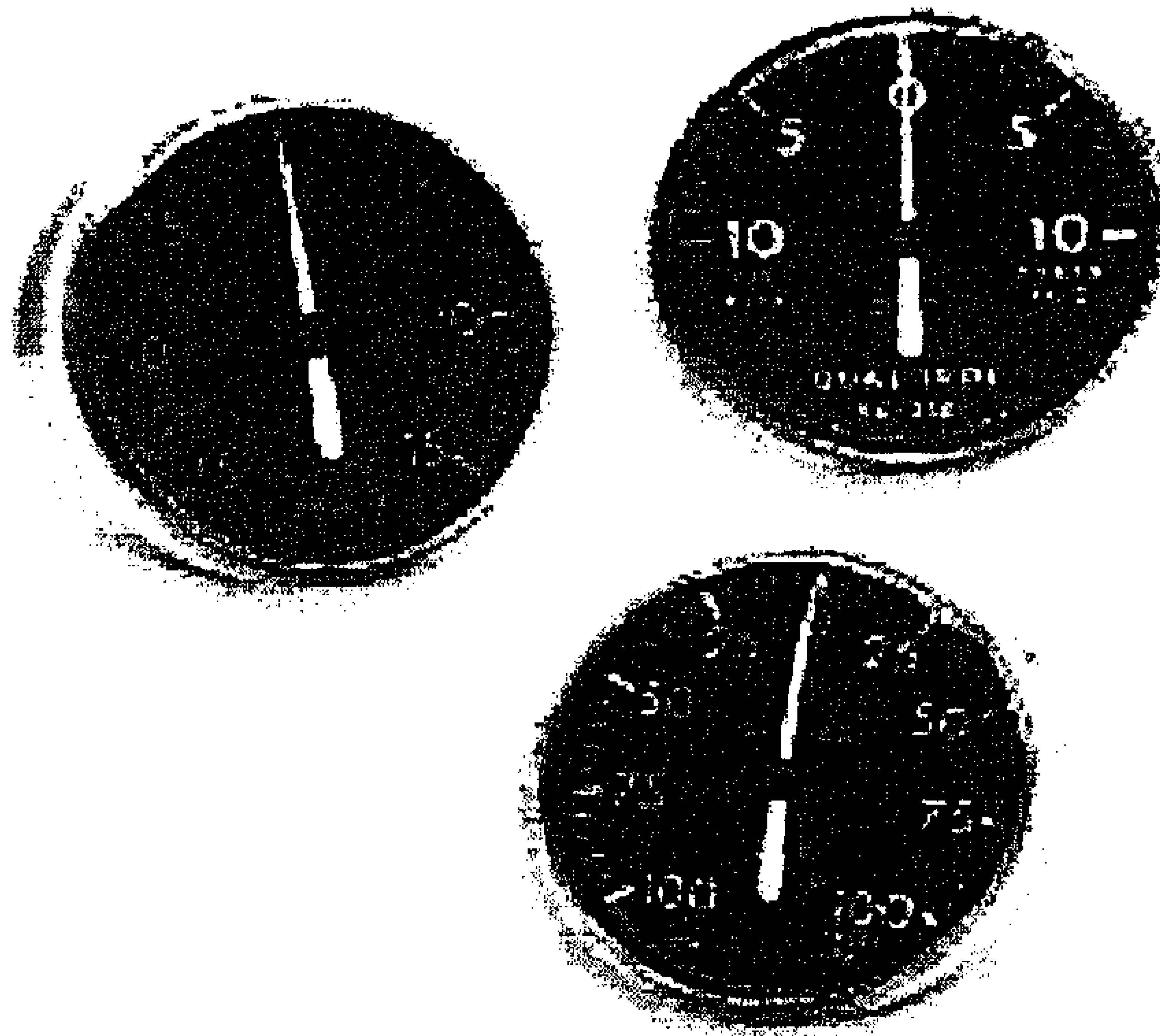
لبيان الفراغَ أو الضغطَ على المحولاتِ والأجهزةِ الأخرى ذات العلاقةِ.

الميزّات:

يُوضّحُ إشارةَ بصريةَ لظروف الضغطِ الداخلي.

الخيارات

- ضغط / مدى فراغ
- أسلوب الوجهَ ووحدةَ القياس
- مَلأَ سائل للاهتزاز العاليِ



شكل (11-12) مبينات الفراغَ أو الضغطَ

جهاز استنزاف الفراغَ أو الضغطَ Pressure or vacuum bleeders

التطبيق

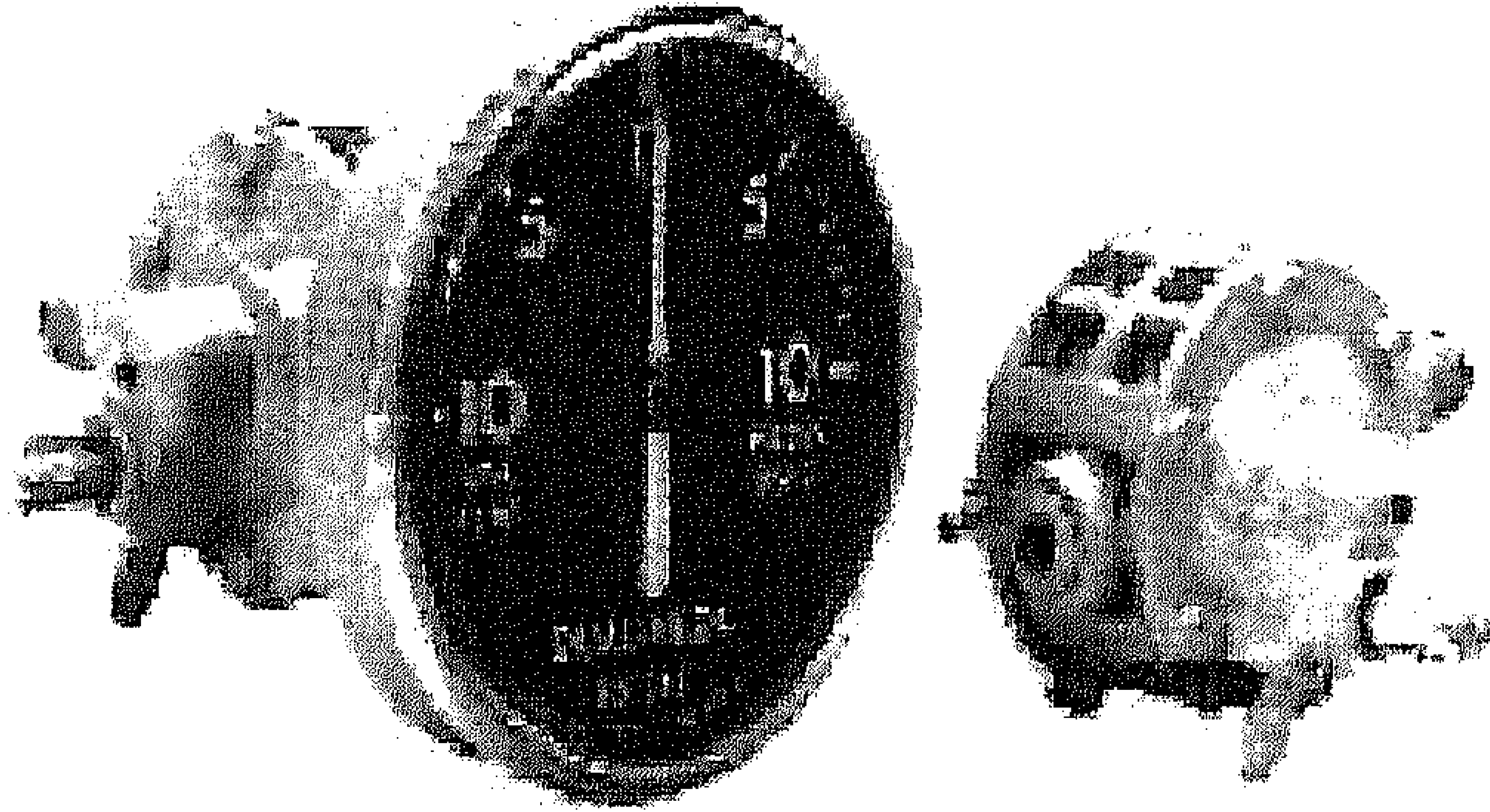
- للضغطِ و/ أو سيطرة فراغِ في المحولاتِ أو الجهازِ الكهربائيِ الآخرِ.

الميزّات

- ضغط حقلِ القابل للتعديلِ أو مكانِ الفراغِ
- متوفر بالإشارةِ المحليّةِ

الخيارات

- أماكن الفراغَ والضغطَ
- وحيد أو ثنائي (ضغط وفراغ، فراغ فقط، ضغطُ فقط)
- أسلوب التثبيت وصمامِ أخذ عينات



شكل (11–13) جهاز استنزاف الفراغ أو الضغط

تبديلات(مرحلات) ارتفاع الضغطِ السريعِ Rapid pressure rise relays

التطبيق

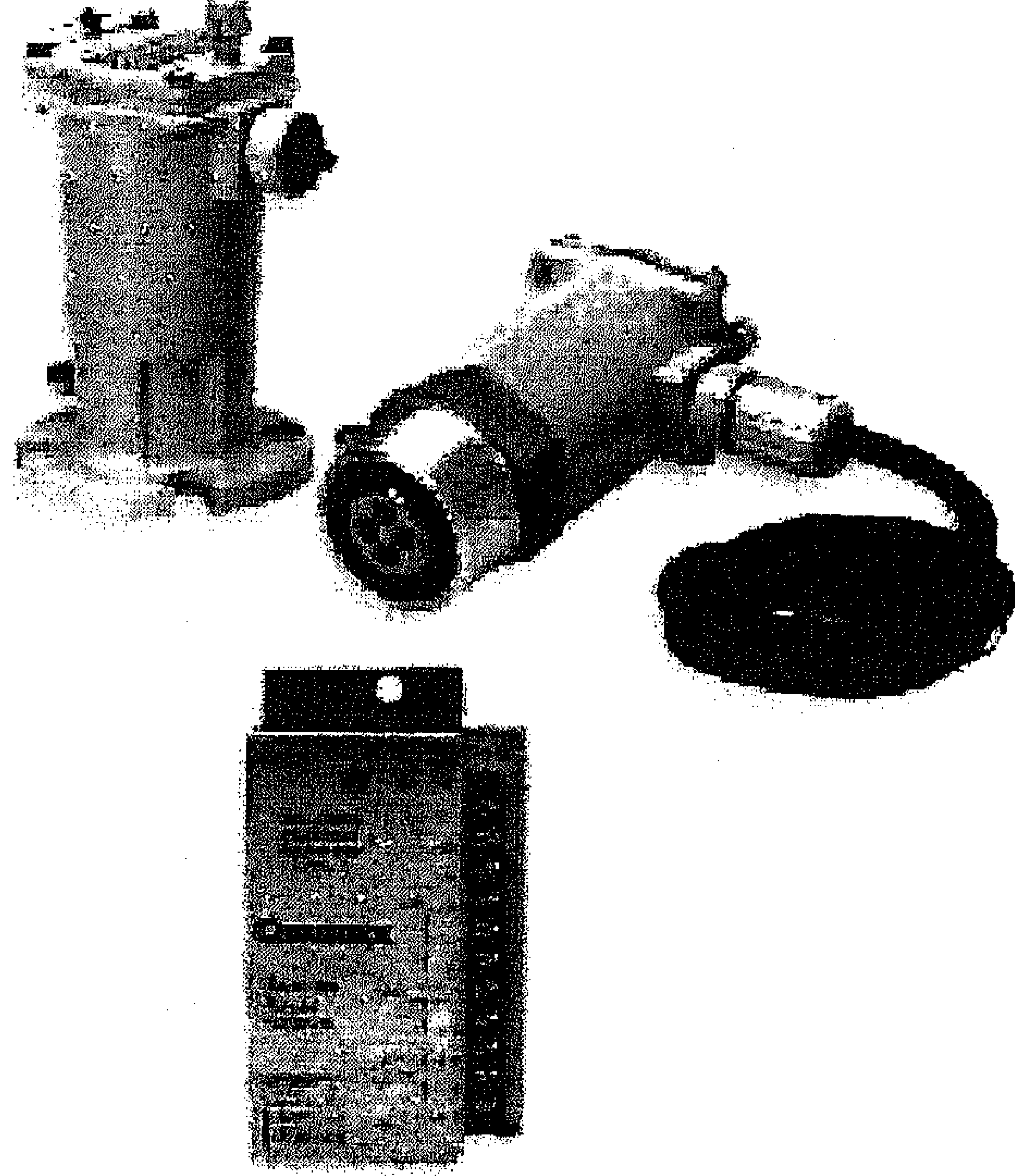
حمايةِ المحوّلِ و الأجهزة الكهربائيةِ الأخرى. تُرسلُ الأداةُ إنذار عندما يحدث ارتفاع ضغطِ مفاجئِ خطرِ. هذا الإنذار يمكن أن يُستَخدم لفصل المحوّلَ لمنع حدوث ضرر أو تلف آخر أو تماماً كمؤشر للحدثِ.

الميزّات

- الكشفِ وإنذار أحداثِ الضغطِ المفاجئةِ التدميرية
- تصممّْ النماذج للاستعمال مع الغازَ أو الزيت
- 100 % اختبار لنقطةِ إطلاق نسبةِ الضغطِ

الخيارات

- يركّب أفقي أو عمودي
- ختم في المرحل لإنذار الإغْلاق أو إشارةِ الفصل
- أنواع اتصال كهربائيةِ، حجم ، ألوان السلكَ والأطوالَ
- نظام نزفِ غازِ
- عُدّة اختبار الموقع واختبار المصنعَ
- تركيّب الخيطَ أو الحافةَ



شكل (11-14) مرحل ارتفاع الضغط السريع

مراقب الضغطِ الإلكترونيِ Electronic pressure monitors

التطبيق

للاستعمال على المحوّلِ وخزانات مغير الخطوة على الحملِ للإحساس بزيـــادة الضغط الخطيرة السريع أَو البطيء ويعطي إنذار ووظائف الفصل.

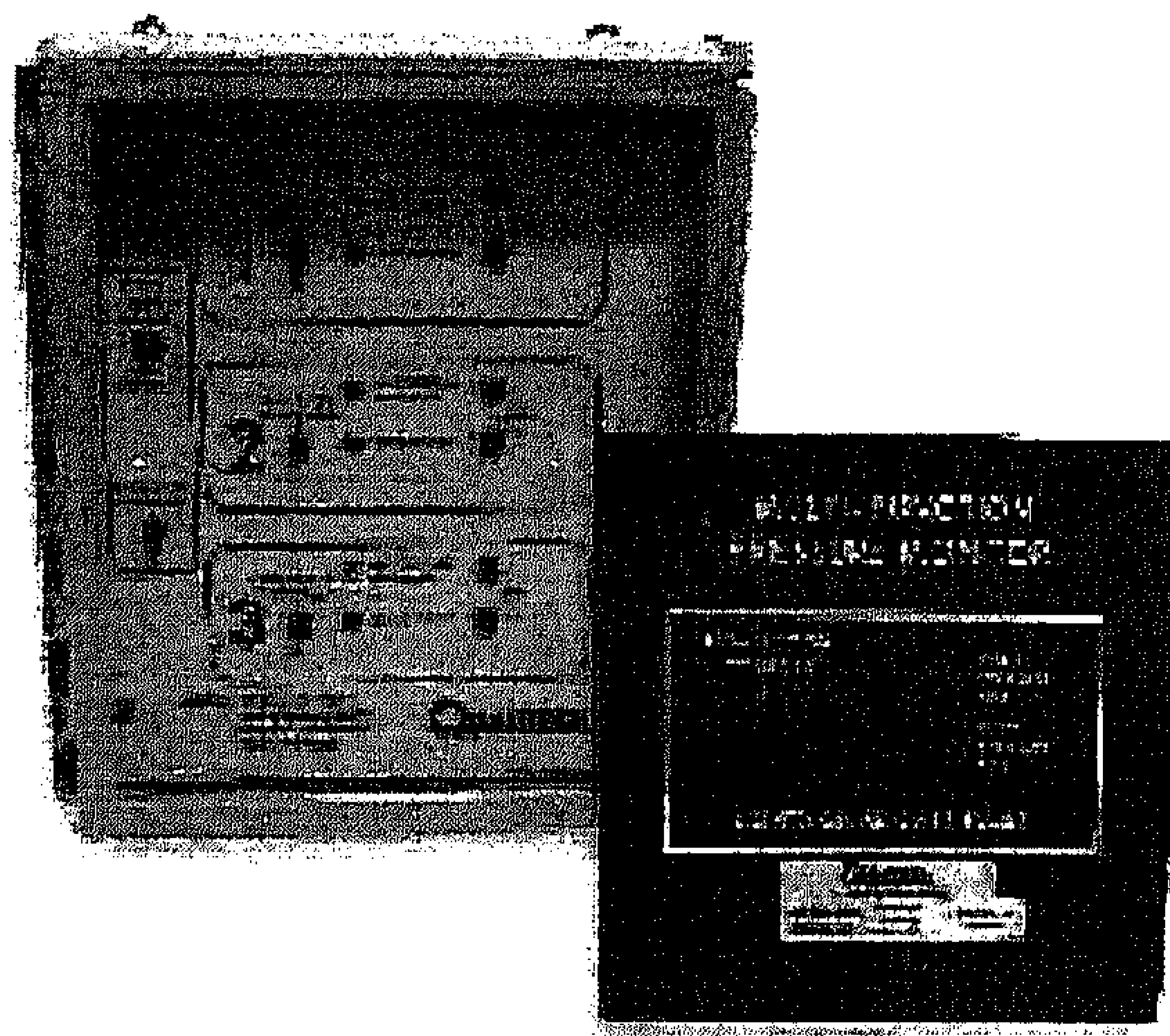
الميزّات

- ارتفاع الضغطِ السريعِ القابل للتعديلِ بالموقع وإعدادات الضغطِ البطيء
- ملامسات يختارها المستخدم بالجهةِ الأمامية ومبينات الحالة
- مللي أمبير ثابت يتناسب مع ضغطِ الخزان للإشارة البعيدِ أَو للاســتعمال بأنظمةِ التحكم والمراقبة SCADA Systems

- محول إشارة transducer متوفر بمخططاتِ المنطق المُخْتَلِفةِ لمرونة اكبر ووظيفة الفصل الموثوق فيها

الخيارات

- محول إشارة عالي التحمّل لتطبيقاتِ الرطوبةِ العاليةِ و/ أَو طقس للتركيب او التثبيت خارج كابينة التحكم
- حساس وحيد أو منطق متعدد الحساس multi-sensor logic
- طبق تثبيت يسمح بتجديد الأجزاء
- خرج يستخدم في SCADA (0-1 أو 4-20 mA)



شكل (11-15) مراقب الضغطِ الإلكتروني

مراقب المحوّلِ الإلكترونيِ Electronic transformer monitor

التطبيق

للمراقبة البعيدةِ والمحليّةِ للعناصر الضرورية للمحوّلِ المملوء بالزيت.

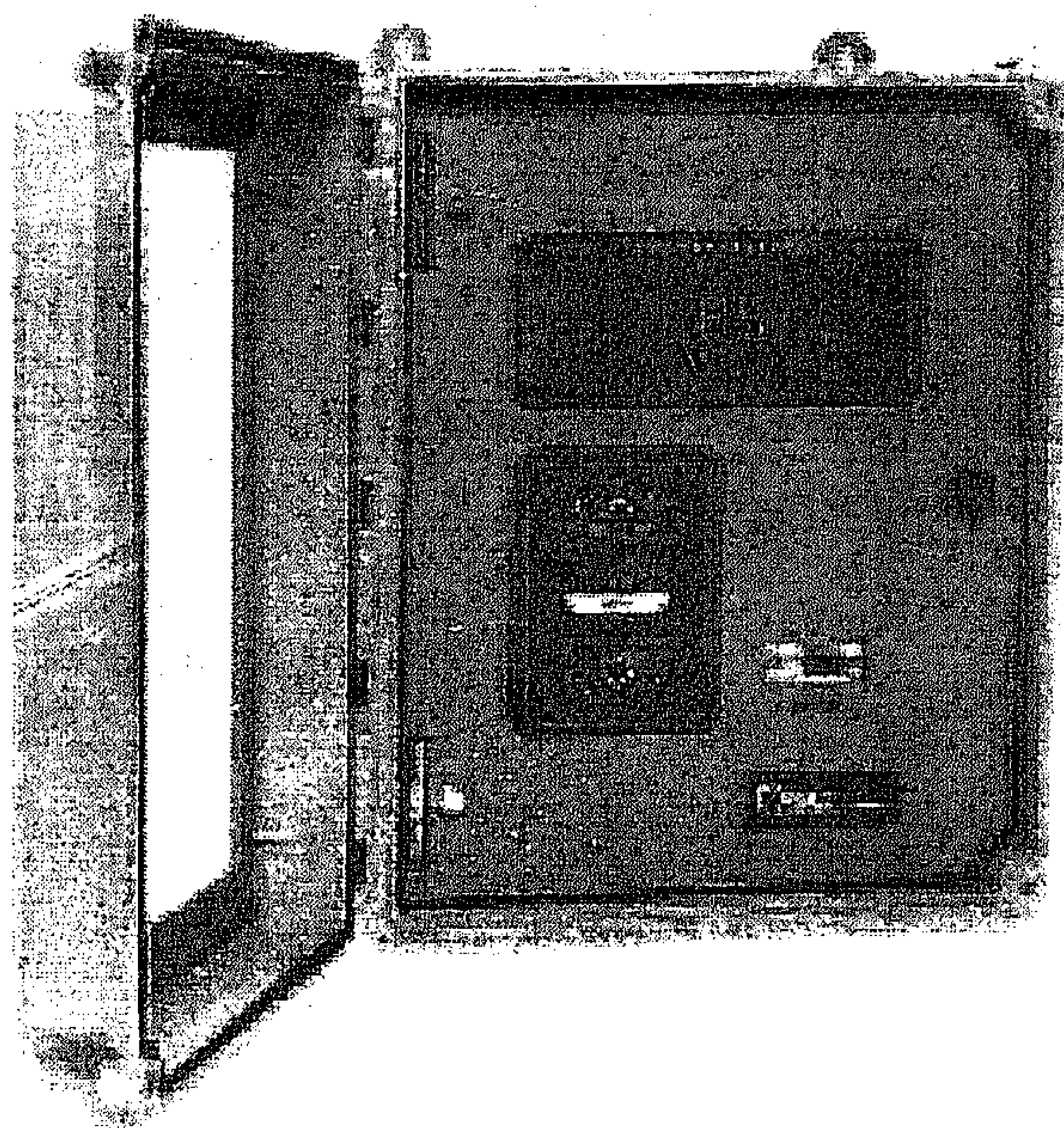
الميزّات

- 5 تبديلاتِ (1 مكرّسة للتحكم في المدفأةِ)

- نواتج حلقةِ التيار 3 (0-1 أو 4-20 mA قابل للإختيار)، لغة اتصالات MODBUS ، DNP protocol على نظامُ RS485
- بحدود 3 مساهماتِ RTD،1 دخل محوّل تيار (CT) للَفّ المَحْسُوبِ calculated winding
- مغذي كهربائي

الخيارات

- دخل mA 4-20
- مضمّن عازل من الظروف الجوية مَع أو بدون مدفأةِ أو كابينة تحكم
- RTD للزيت، RTD بيئي ومشبك على محول التيار



شكل (11-16) مراقب المحول الإلكتروني

مراقب المحولِ الذكي Intelligent transformer monitor

التطبيق

للمراقبة البعيدةِ والمحليّةِ لكُلّ البارامترات الحرجة للمحولِ المملوء بالزيت متضمنا ذلك التحكم في نظام التَبريد ومراقبة مغير الخطوة على الحملِ.

الميزّات

- 10 تبديلاتِ (1 مكرّسة للتحكم في السخان (المدفأةِ)، 1 مكرّس لحالة النظامِ) للإنذار والتحكم مستند على بحدود 8 نقاط دخل modular للأنواع المُخْتَلِفةِ
- 4 مخارج حلقةِ تيار معزولة مغناطيسياً (0-1 أو 4-20 mA قابلة للاختيار)
- إعداد مخرج اتصالات من نوع -232 المحليّ، اتصال RS485 البعيد، ألياف ضوئية (RS-485) مدخل الإثرنتَ والاتصالات
- مخرج USB للإعدادِ وتسجيل وتحميل البياناتِ المحليّةِ
- نموذجِ مراقبِ التَبريد للتحكم المتقدّم أو نموذج مراقبِ مغير الخطوة على الحملِ لمراقبة الأداءِ المُفصّلةِ

الخيارات

- مسجل كاملَ البياناتَ (بحدود 20 بارامتر) و مسجل حدث (بحدود 8 أحداثِ) ب32 ذاكرةِ ميجابايت مشتركةِ
- مخرج إيثرنتِ و/ أو مخرج اتصالات بالألياف الضوئيةِ (RS-485)
- مضمّن (غلاف) عازل ضد الظروف البيئية مَع أو بدون مدفأةِ، 19بوصة رفّ تثبيت أو كابينة تحكم
- RTD ، Oil RTD بيئي، مشبك على محول التيار، محول الضغط transducer، مرسل مستويِ الزيت، ووحدات دخل مُخْتَلِفةِ أخرى

- لغــة اتــصالات / MODBUS / DNP / ASCII / IEC 61850 / IEC 60870 protocols

مراقب حالة القاطع On-line breaker condition monitors

التطبيق

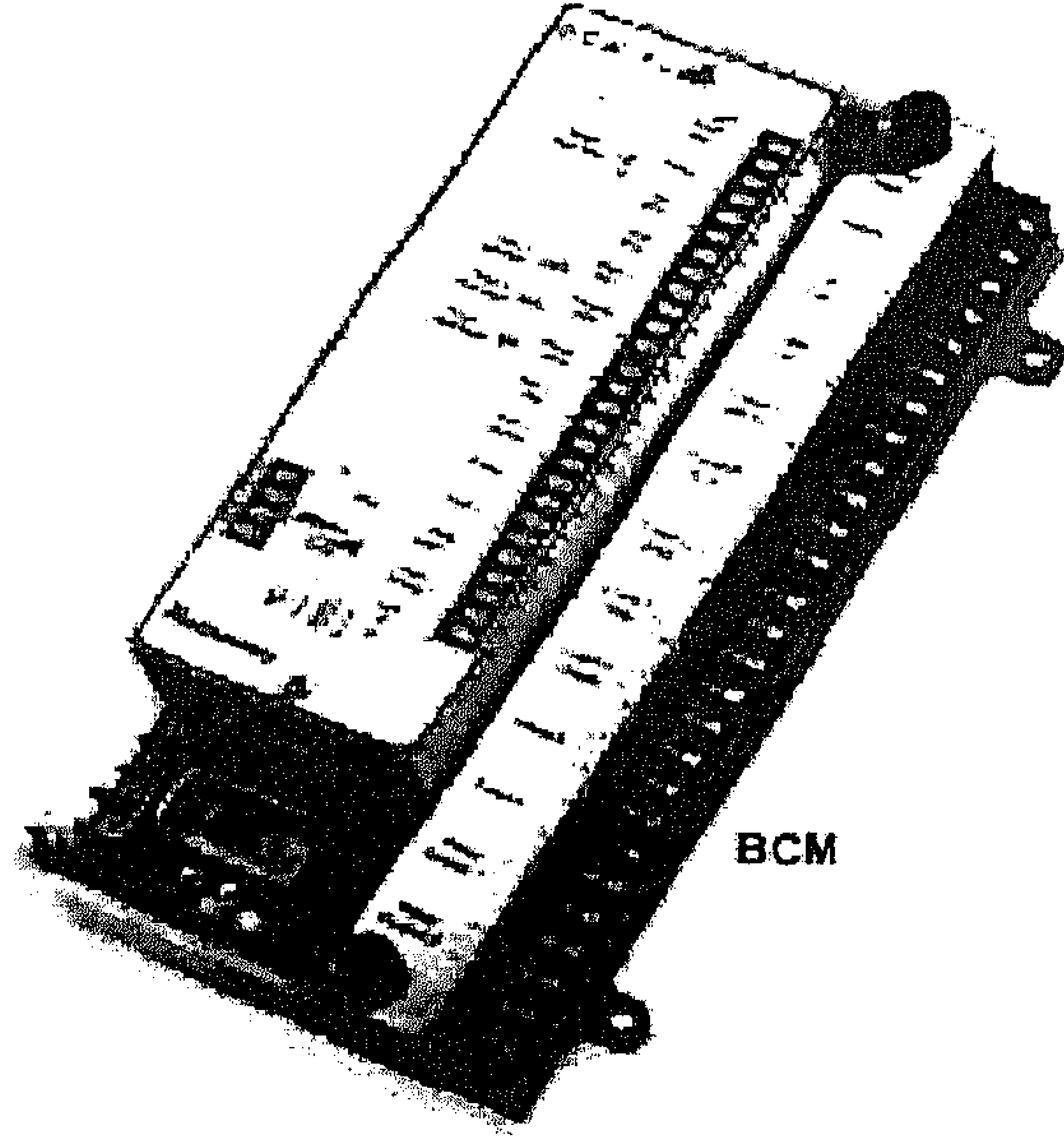
يركَبَ بشكل دائم على قواطع الدائرةِ ذات الجهد المتوسطِ أو العالي لمُراقَبــة أداء القاطع و إعطاء إنذار عندما تَحْدثُ تغييراتِ. وتوجد وحدات مناسبة لثلاثي الأوجه و أحادية الوجه التي تعمل بشكل مستقل.

الميزّات

- حجم صغير للتركيبِ داخل أكشاكَ قاطع الدائرةِ
- مقارنة آلية لكُلّ عملية مقابل العملية النمطية الرئيسيةِ لاكتشاف التغييراتِ في الأداء.
- يُمكّنُ إطالة فتراتَ الصيانةِ الروتينيــة لقــاطع الــدائرةِ وتكامــلَ إلــى إستراتيجياتَ الصيانةِ الطارئة

الخيارات

- عدد المدخلات
- مراقبة كثافةِ غازِ سادس فلوريد الكبريت (مَــع مراقبــات أخــرى كثافةِ غازِ مَع ناتج 4–20 مللي أمبير)
- مضمّن طقسٍ weather proof enclosure
- إتصالات لاسلكي إلى المحطةِ الثانوية / التحكمِ



شكل (11-17) مراقب حالة القاطع

مراقب كثافةِ غازِ سادس فلوريد الكبريت مع 4-20 مللى أمبير SF6 gas density monitors with 4-20mA

التطبيق

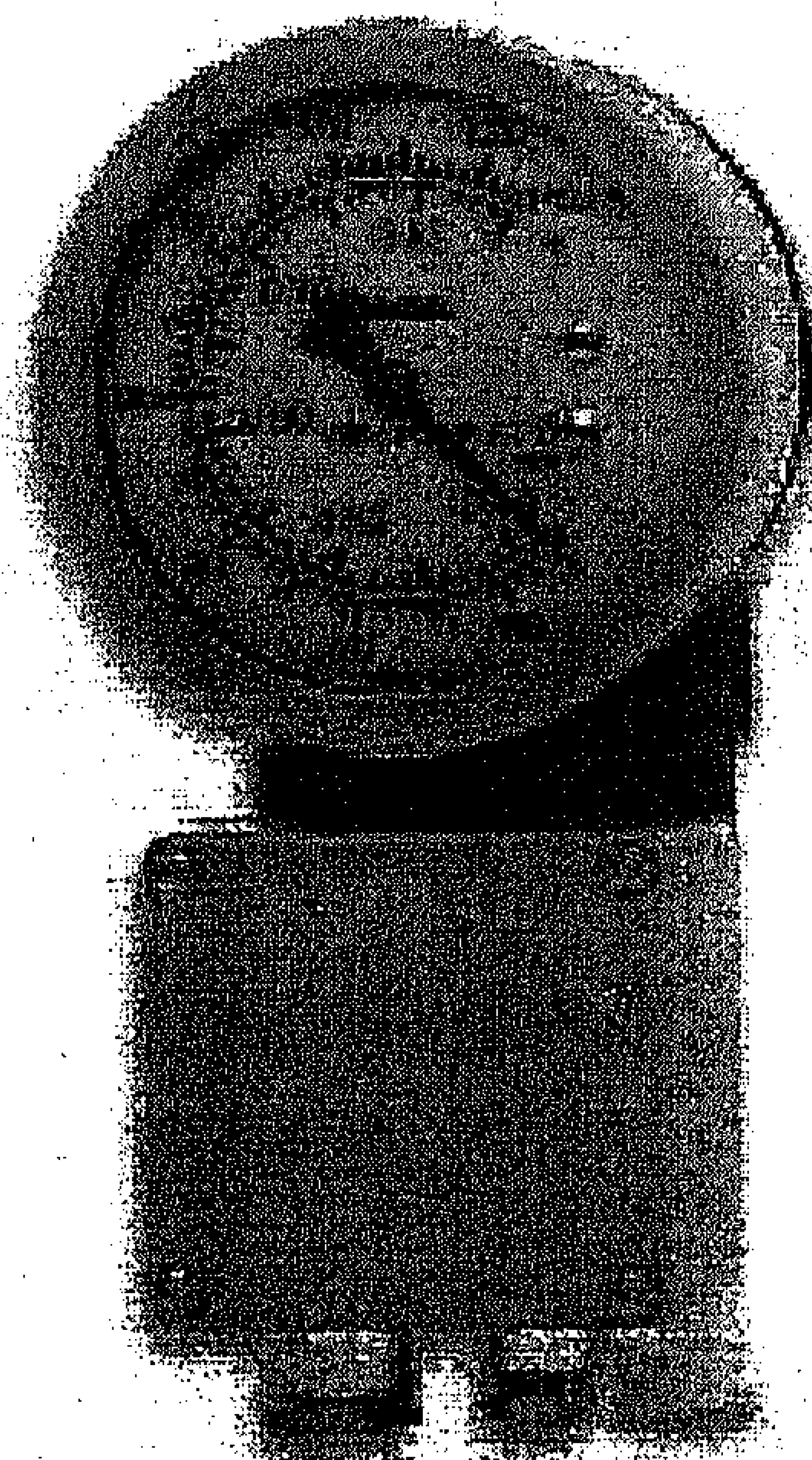
مراقبة كثافةِ غازِ سادس فلوريد الكبريت الحرجة على قاطع الدائرةِ لمَنْع المستوى المنخفضِ الخطرِ مِنْ عَزْل الغازِ أثناء عملية التشغيلِ. يصمّمَ للاستعمال المحليّ (عن طريق الوجهِ) والاستعمال البعيد (عن طريق ناتجِ تناظري anolog إلكتروني) بواسطة إشارة تُطلّبَ لوظائفِ التحكم و الإنذار.

الميزّات

- مستقل ومستمر 4-20 mA أو 0-1mA ناتج كثافةِ الغازِ درجةُ حرارة البيئةُ المحيطة يعوّضْ مستندة على قانونِ الغازِ المثاليِ .
- إشارة محليّة مُستَندة ميكانيكية زائدة بالتعويضِ و ثنائيةِ المعدني لتعويض درجةِ الحرارة المحيطة مفاتيح اختيارية لوظائفِ التحكم و الإنذار .
- صممّ للاستعمال مَع BCM للمراقبة الشاملةِ قاطع الدائرةِ

الخيارات

- بحدود 3 مفاتيحِ (ملامسات)
- معدلات ضغطِ وشكل وجهي وتخطيطِ
- 4-20 mA أو 0–1 mA ناتج خرج إلكتروني
- أسلوب اتصال كهربائيِ وأسلوبِ اتصال بالخزان



شكل (11–18) جهاز قياس غاز سادس فلوريد الكبريت

المراقبات الكبيرة لكثافةِ غاز سادس فلوريد الكبريت

Large SF6 gas density monitors

التطبيق

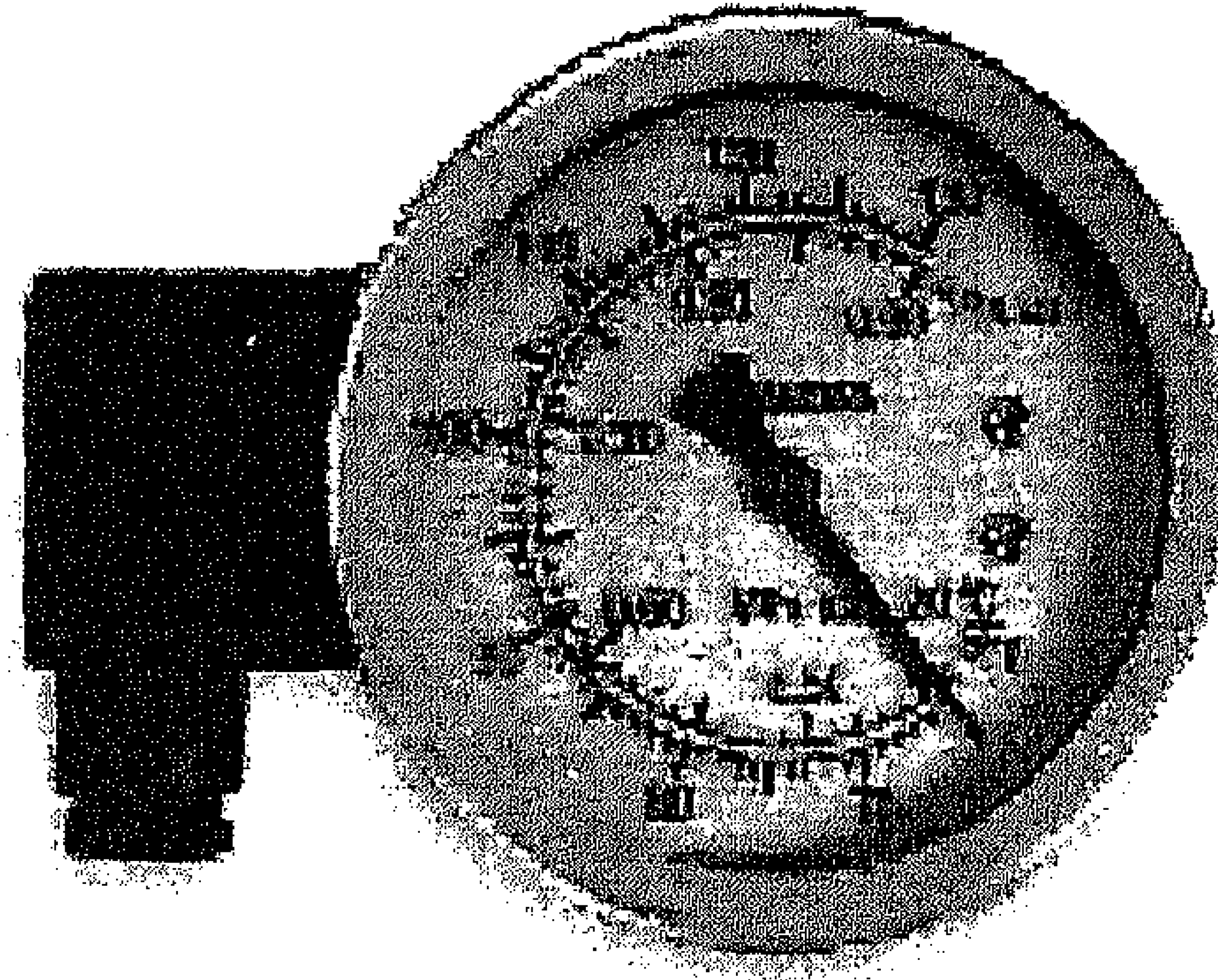
يستخدم لمراقبة كثافةِ غازِ سادس فلوريد الكبريت في قـــاطع الـــدائرةِ لمَنْـــع المستوى المنخفضِ الخطرِ مِنْ عَزْل الغازِ أثناء التشغيل. يصمّمَ للاستعمال حيـــث يكون مطلوب إشارة محليّة مع مفاتيحِ متوفرة لوظائفِ التحكم و الإنذار.

الميزات

- إشارة محليّة مُستنَدة ميكانيكية بالتعويض ومفاتيح ثنائيةِ المعدني لدرجةِ الحرارة البيئية الإختياريةِ لوظائفِ التحكم و الإنذار .
- 3.5 بوصة (88.9 مليمتر) وجه وجهِ بعِدّة خيارات مدى ضغطِ .
- غلاف تثبيت وعر للاهتزاز مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ لطول البقاء .

الخيارات

- بحدود 3 مجموعةِ مصنعِ تَنْقلُ (ملامسات) .
- معدلات ضغطِ وأسلوبِ ووجهِ وتخطيطِ .
- أسلوب اتصال كهربائي ونوعِ اتصال خزان .



شكل (11-19) المراقبات الكبيرة لكثافةِ غاز سادس فلوريد الكبريت

المراقبات الصغيرةِ لكثافةِ غازِ سادس فلوريد الكبريت

Small SF6 gas density monitors

التطبيق

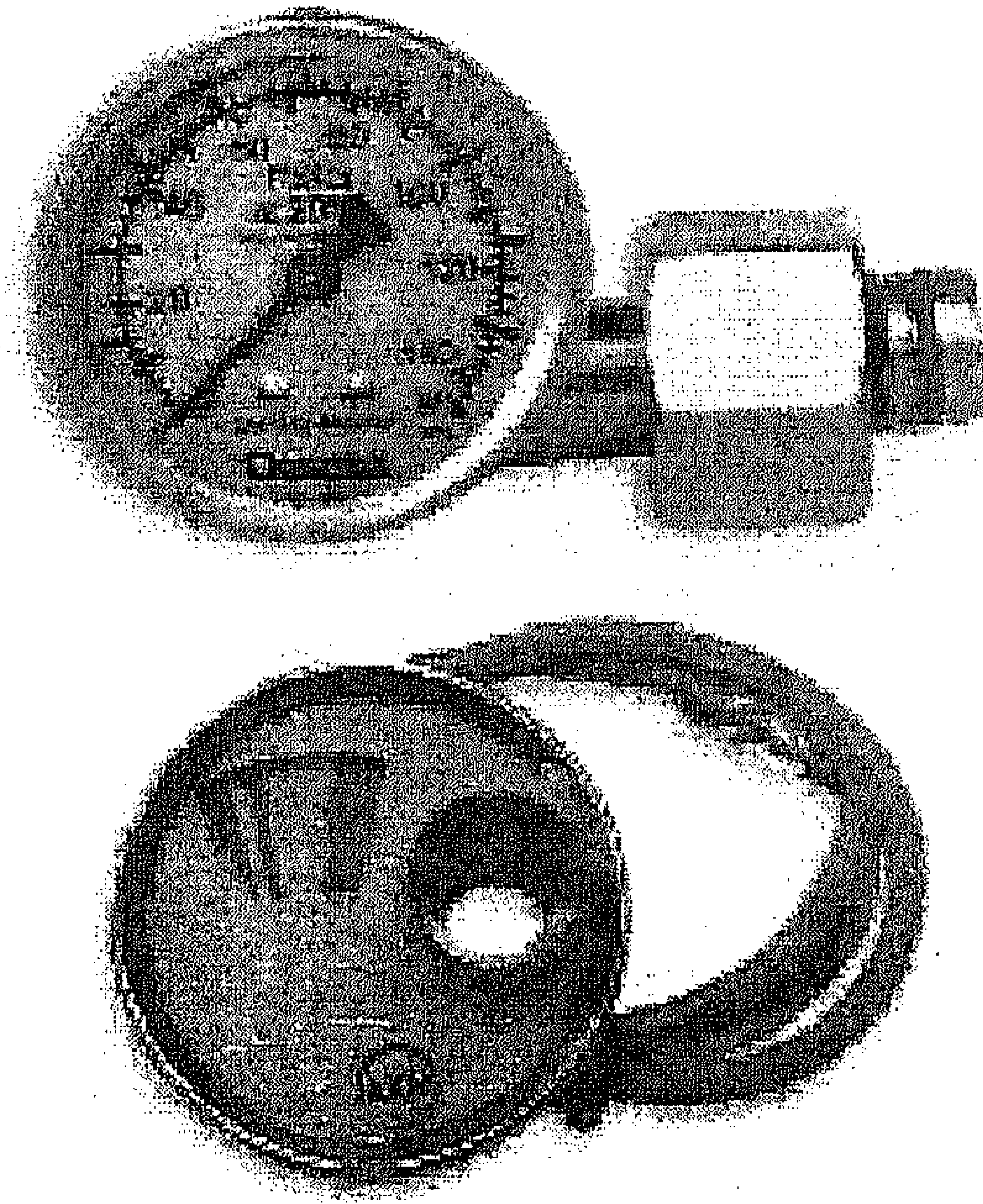
يستخدم لمراقبة كثافةِ غازِ سادس فلوريد الكبريت في قاطع الدائرةِ لمَنْع المستوى المنخفضِ الخطرِ مِنْ عزْل الغازِ أثناء التشغيل. يصمّمَ للاستعمال حيث يكون مطلوب إشارة محليّة فقط.

الميزّات

- إشارة محليّة مُستَنَدة ميكانيكية بتعويضِ ثنائيِ المعدني لدرجــةِ حــرارة الوسط المحيط .
- تصميم مضغوط المحددة لتطبيقاتَ للفضاء .
- غلاف وعر حديد مقاوم للصدأِ لطول البقاءِ .

الخيارات

- معدلات ضغط .
- أسلوب وجهِ وتخطيطِ .
- نوع اتصال خزان .



شكل (11-20) المراقبات الصغيرةِ لكثافةِ غازِ سادس فلوريد الكبريت SF6

مبينات درجة حرارة الملفات

المبينات الحديثة لدرجة حرارة الملفات

1- القياس المباشر باستخدام الألياف الضوئية

2- المحاكاة باستخدام حساس حراري في عمق حـــراري مـــسخن Heated themowell

3- الحساب وينقسم الى قسمين: فيزيائي (مادي) و تقديري

قياس الملفات المباشر باستخدام الألياف الضوئية

إن تكنولوجيا الألياف الضوئية هي تكنولوجيا جديدة لنقـــل البيانـــات والمعلومـــات بواسطة إشارة ضوئية موجهة بأنبوب ذو قطر صغير كما في الشكل التالي:

مميزات الألياف الضوئية

1- القياس المباشر للنقاط الساخنة

2- سلبية (عازلة)

3- منيع تجاه التداخل الالكترومغناطيسي

4- مدة خدمة أطول

5- خفة الوزن

6- صغر الحجم

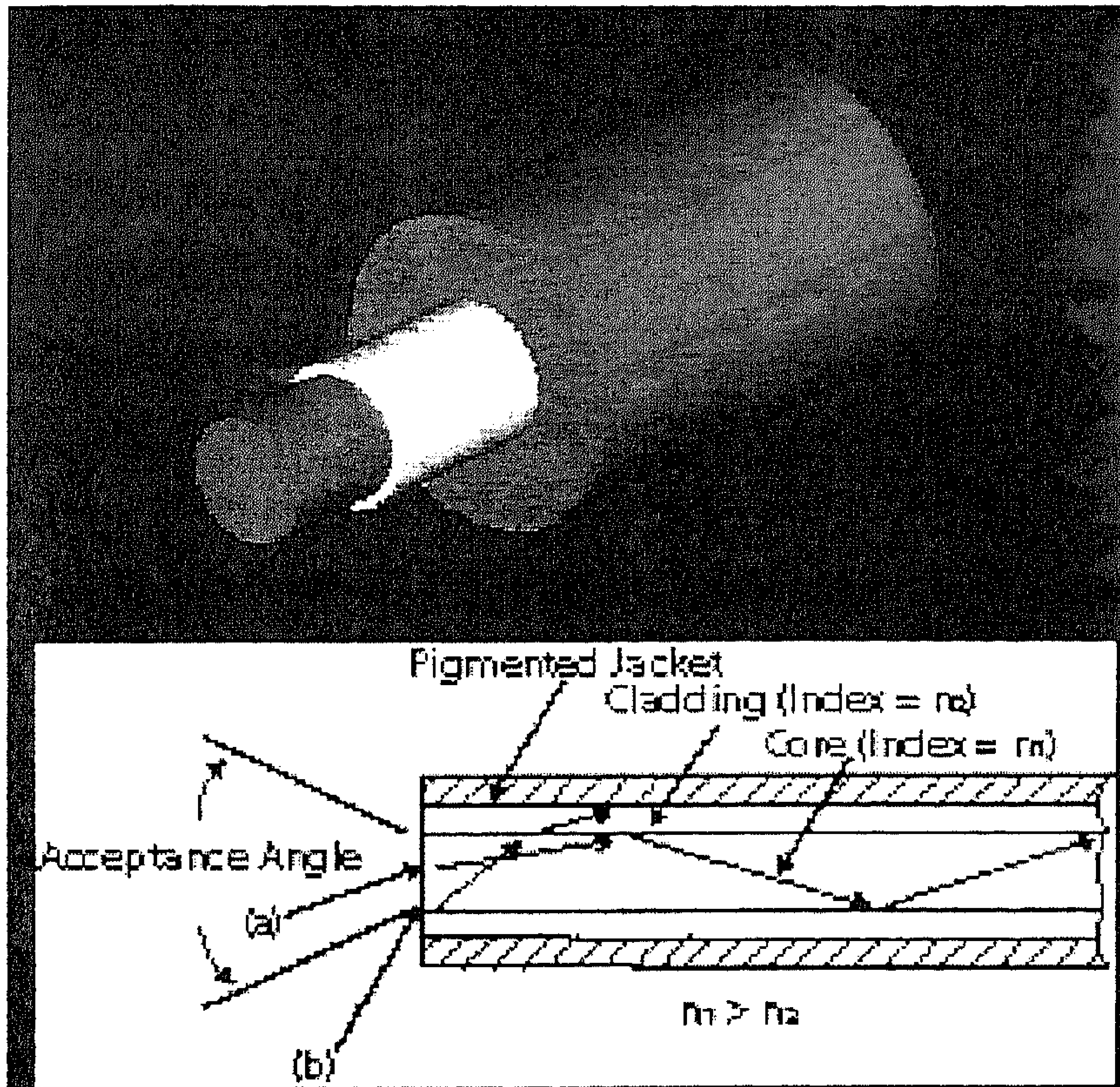
7- المقاومة للاهتزازات والصدمات

العيوب

1- التكلفة

2- صعوبة التجديد

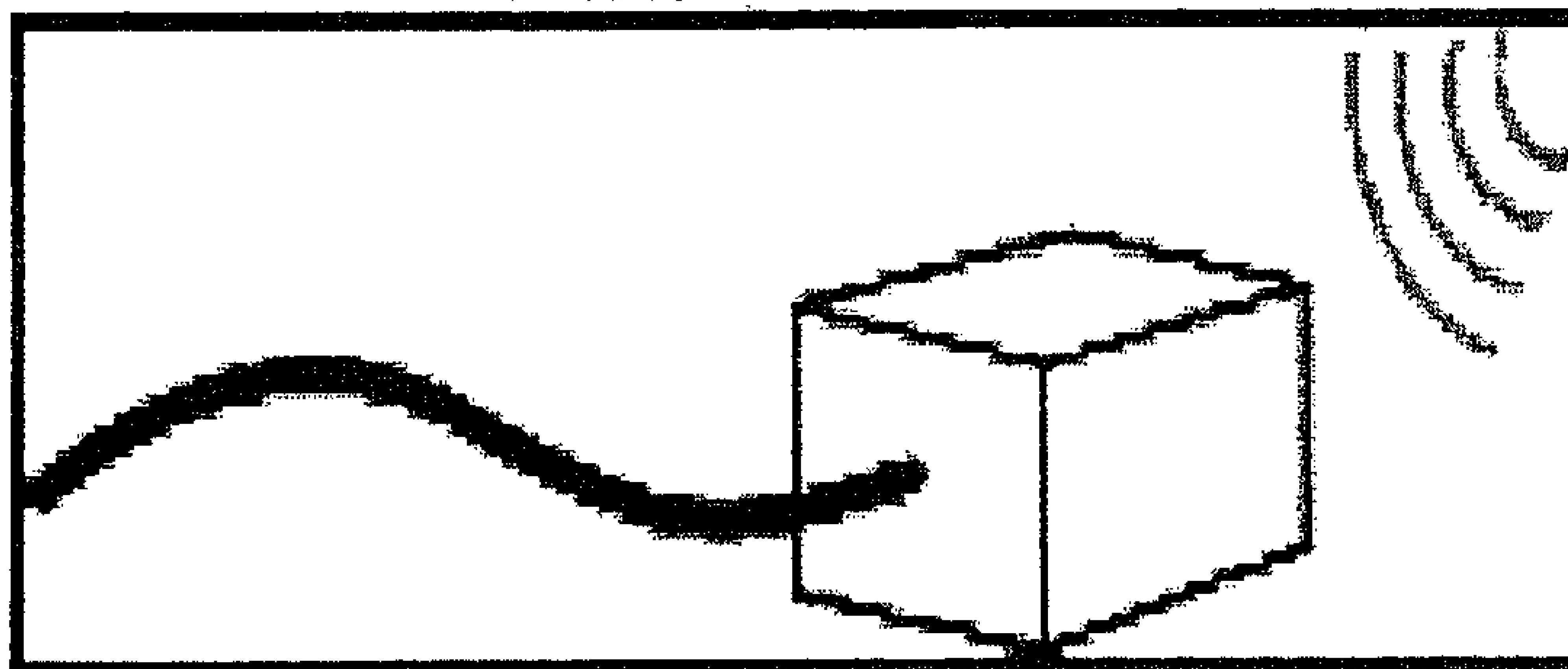
3- القابلية للكسر أثناء التركيب



شكل (11-21) رسم توضيحي للألياف الضوئية

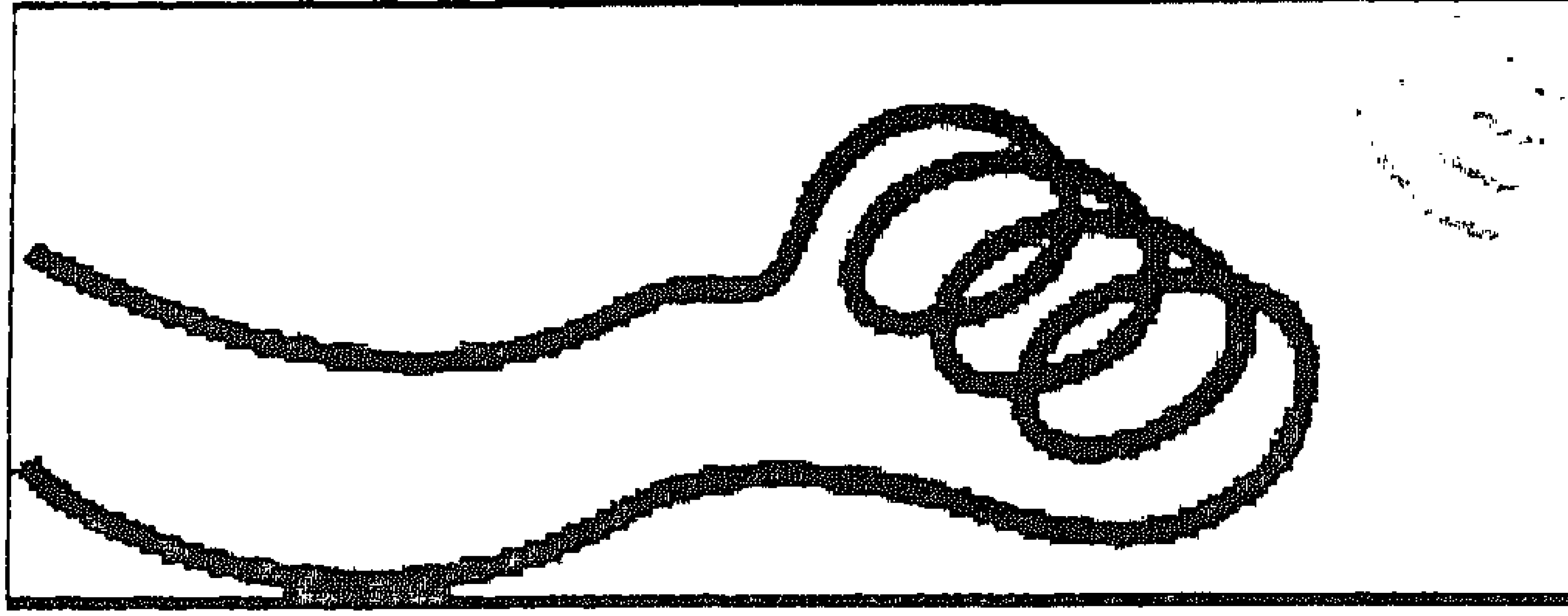
Two types of fiber optic sensors

Extrinsic: Fiber carries signal to external sensor



شكل (11-22) رسم توضيحي لحساس الألياف الضوئية (النوع العرضي)

Intrinsic : Fiber itself is the sensor



شكل (11-23) رسم توضيحي لحساس الألياف الضوئية (النوع الجوهري)

يوجد نوعان من حساسات الألياف الضوئية

عرضي Extrinsic

يَحمِلُ الليف الإشارةَ إلى الحساس الخارجي

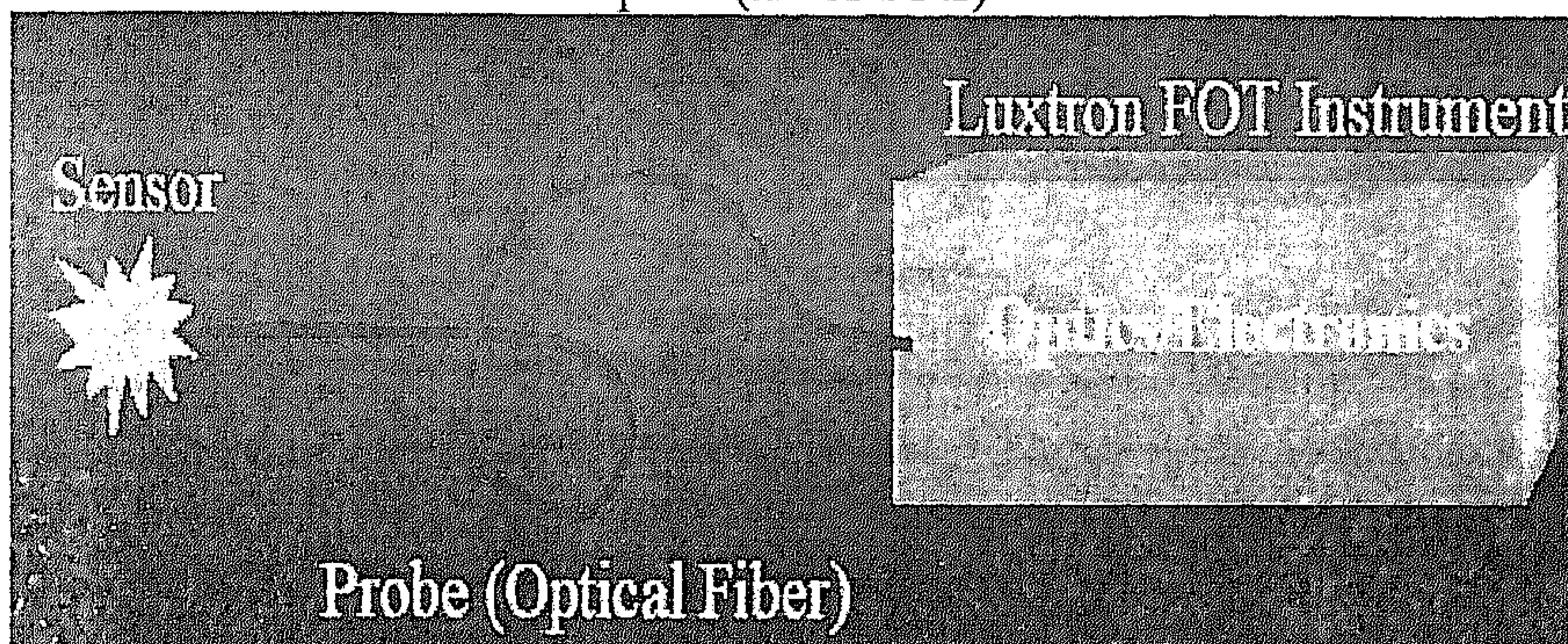
جوهري Intrinsic

الليف بنفسه هو الحساس

مقارنة بين الألياف الضوئية العرضية و الجوهرية

	العرضي	الجوهري
نوع الحساس	حساس نقطة	موزع أو حساس نقطة
التطبيقات	متاح تجاريا منذ ما يقرب من 15 سنة	للأبحاث والتطوير
التكلفة	تكلفة ليست عالية	تكلفة عالية تصل إلى عشرة أضعاف النوع العرضي
الموضع	يتطلب معرفة أو فرض موضع النقطة الساخنة	الحساس الموزع يمكن قياس الحرارة عبر مساره

Extrinsic Sensor – Fluoroptic (Luxtron)



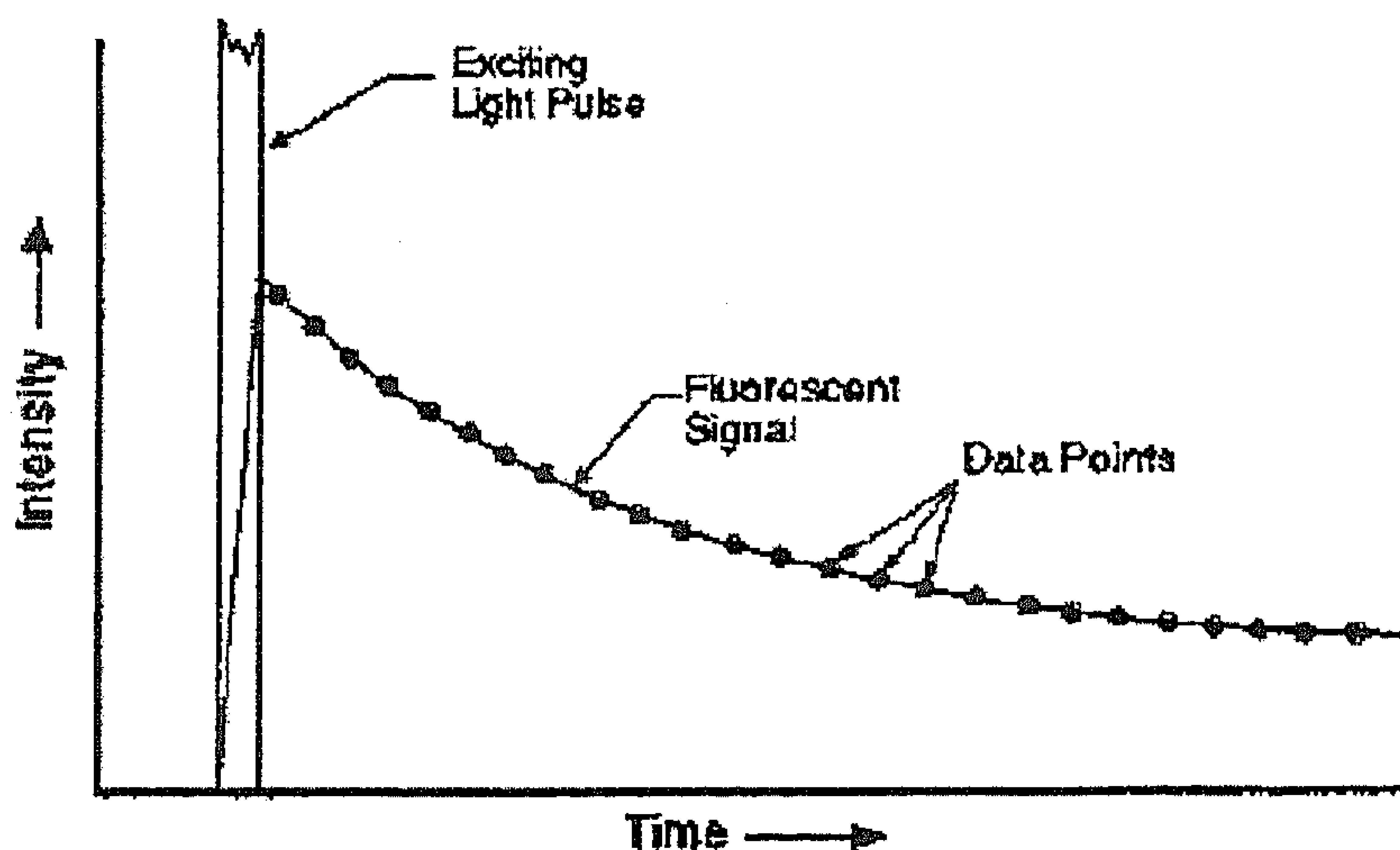
شكل (11–24) نوع من أنواع الحساس العرضي

الحسّاس العرضي – Fluoroptic (Luxtron)

نقص الإشارة يعتمد على درجةِ حرارة:

في درجاتِ الحرارة العالية يكون النقص في الإشارة أسرعُ.

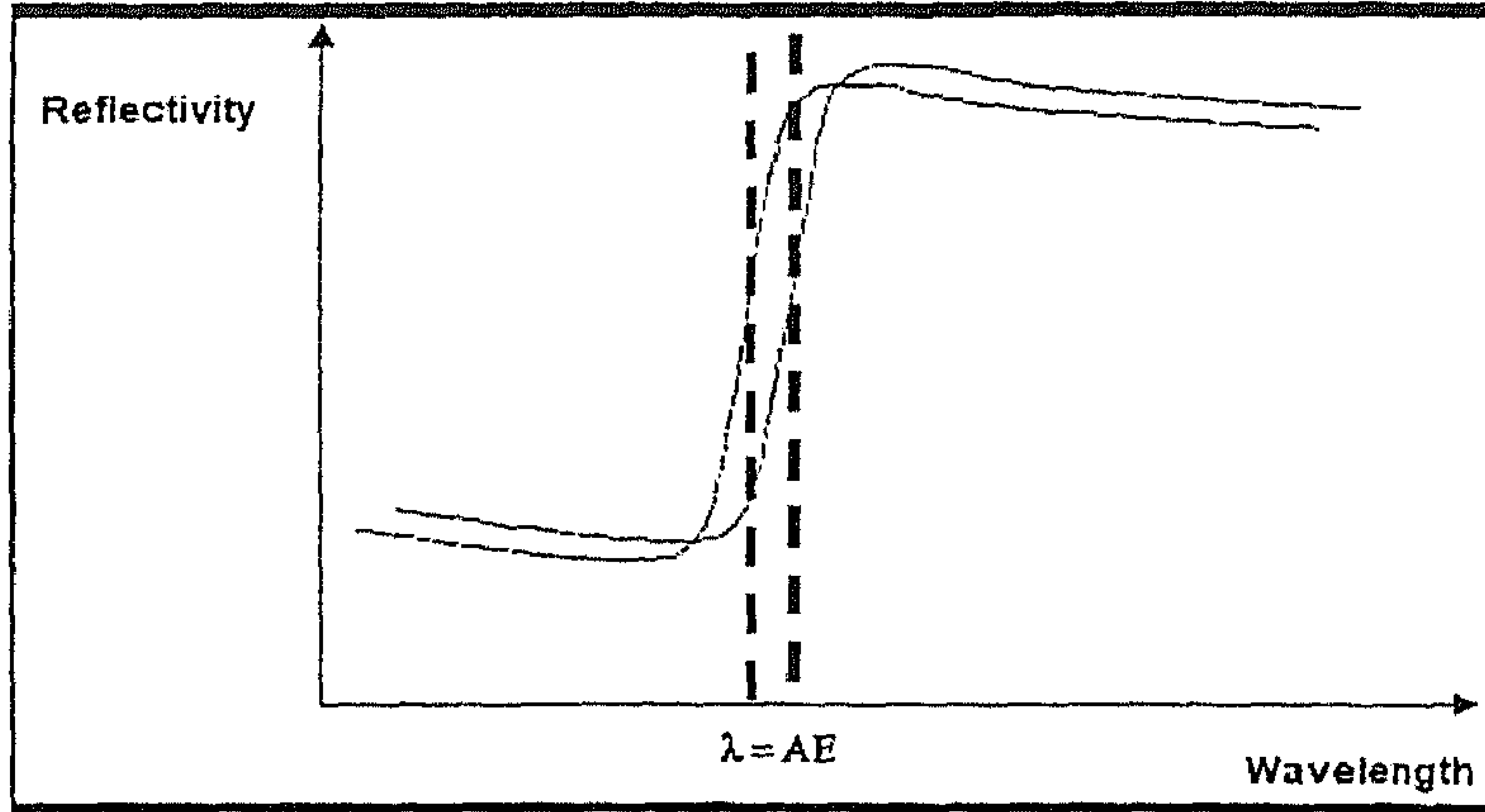
في درجاتِ الحرارة الأبرد يكون النقص في الإشارة أبطأُ



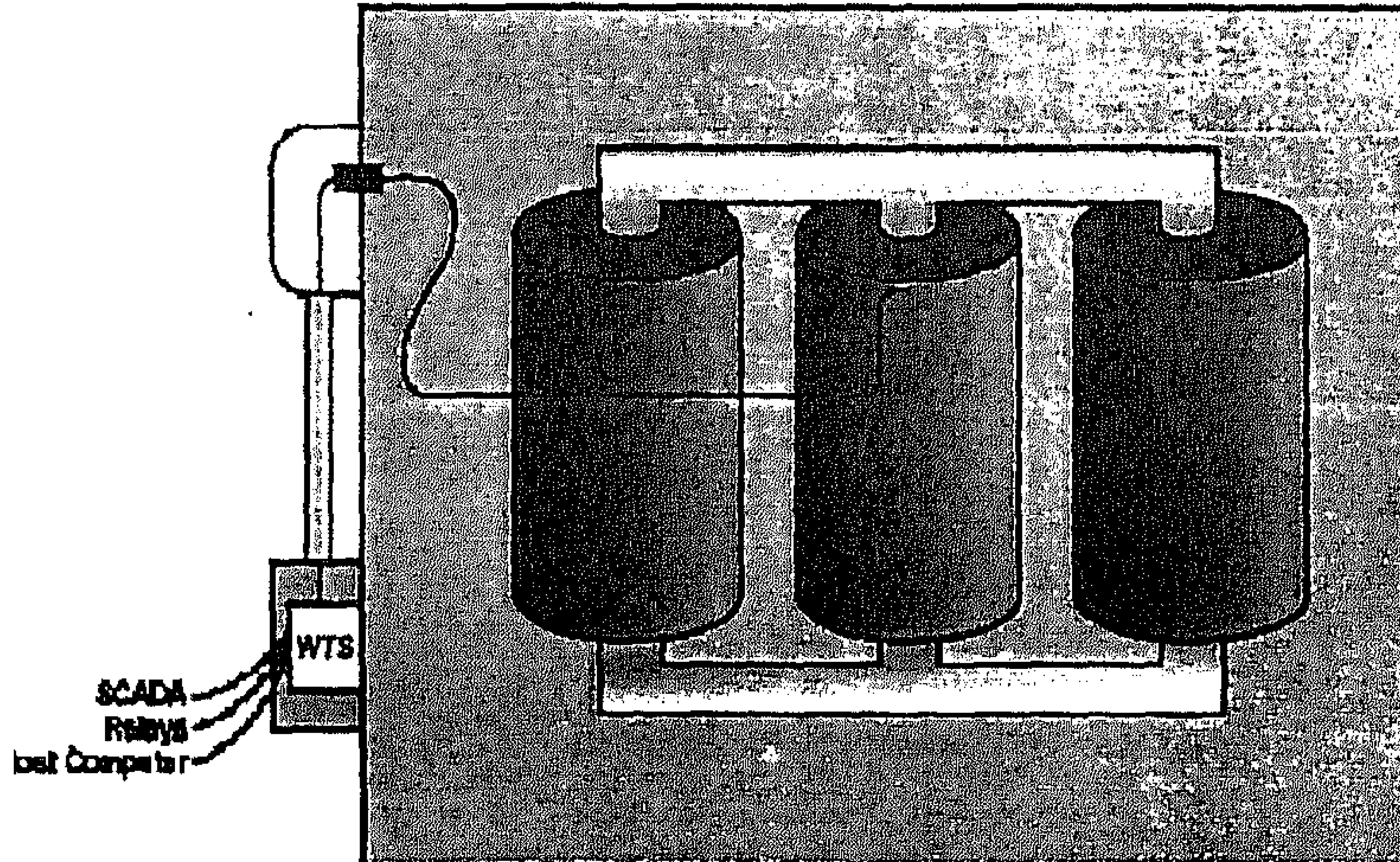
شكل (11–25)حافة امتصاص حساس النقطةِ العرضيةِ

Extrinsic Point Sensor-Absorption Edge

- بلور شبهِ موصل (مثل GaAs) يربَطَ بنهايةِ الألياف الضوئية .
- تَنتقلُ حافةُ الامتصاص إلى أطوالِ موجية أطـولِ عنـدما تَرتفـع درجـة الحرارة .



شكل (11-26) الطول الموجي مع الانعكاسية



شكل (11-27) مسار إشارة حساس الألياف الضوئية F.O. sensor signal path

الدقة

أنظمة قادرة على إعطاء دقة أفضل مِنْ 1 درجة مئوية .

أكثر الأنظمةِ حَسّنتْ للمحولاتِ محدّدة في الدقةِ +/- 2°م على كامـــل مـــدى تشغيل -30 إلى 200 °م.

وهذا مستقلِ على موقعِ كابل الحساس .

الاستجابة لتَغير الحمل

وقت رَدّ فوريُ عملياً

كابل حساس الألياف الضوئية يَقِيسُ درجةَ حرارة الملفات مباشرة .

الاستجابة تعتمد على موقعِ نهاية الكابل probe tip location .

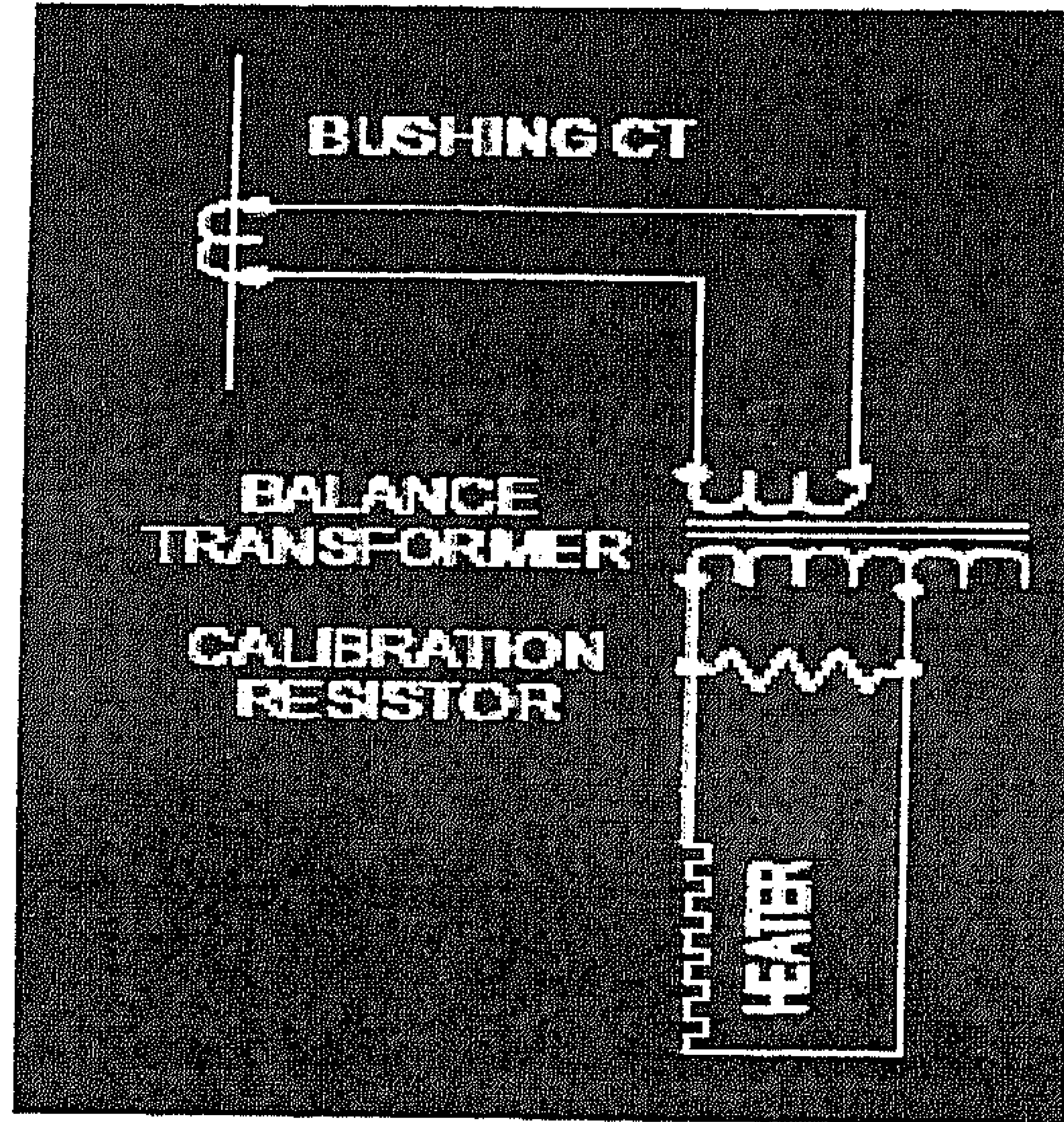
مقياس درجةِ حرارة الملفات

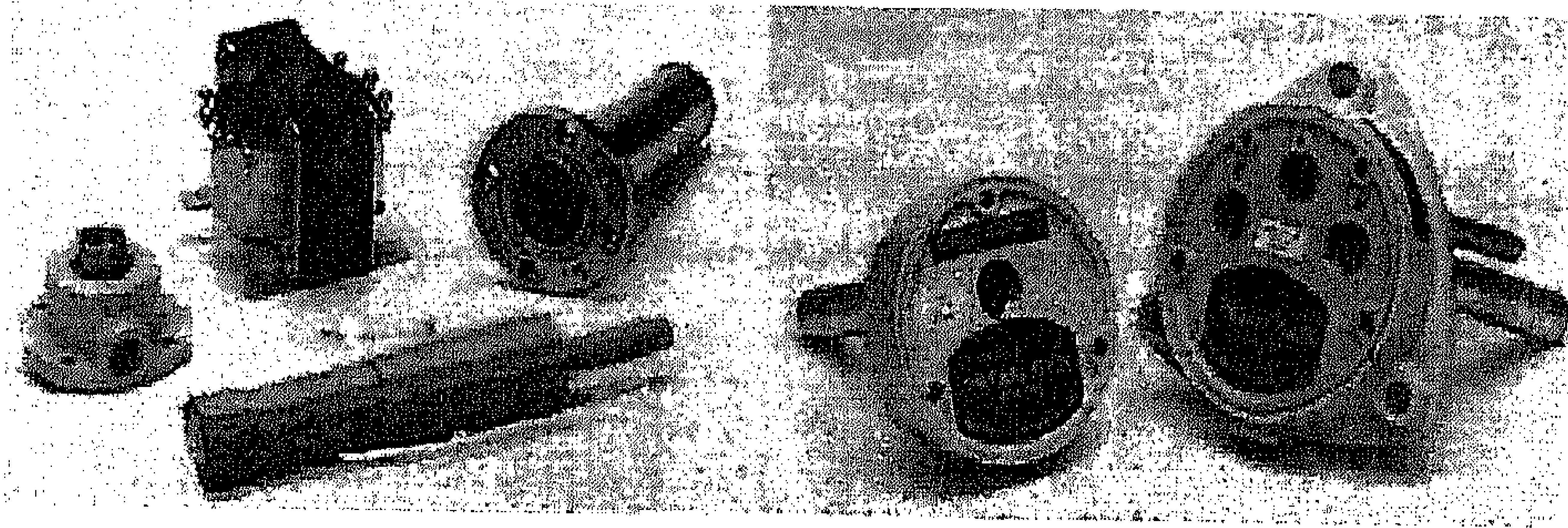
التقنيات الحالية: أجهزة المحاكاة التناظرية

أنظمة محاكاةِ الملفات

العمق الحراري Thermowell

- ملف التسخينِ Heater coil
- أسلوب اللوحة Plate style





شكل (11-28) العمق الحراري Thermowell

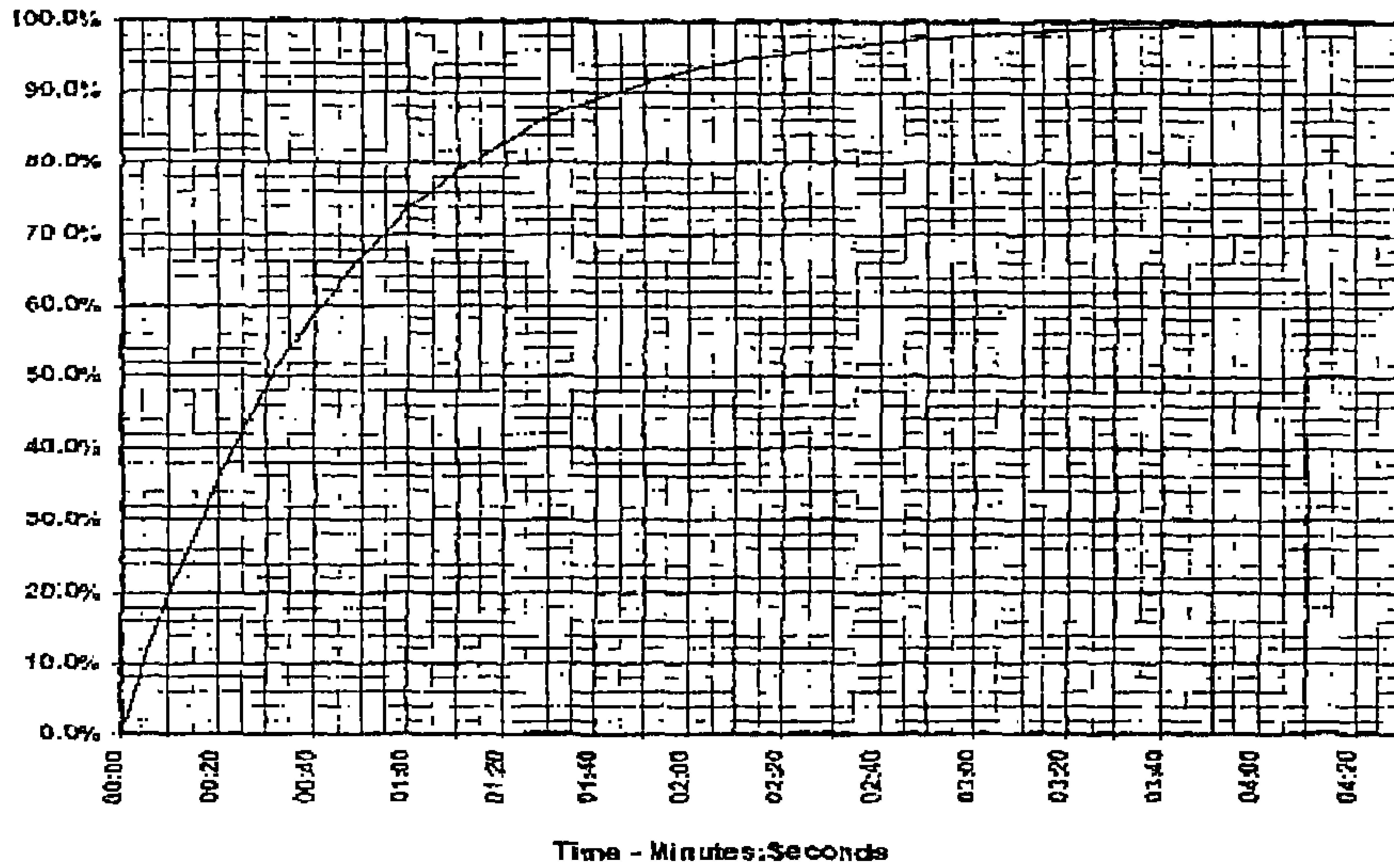
وقت استجابة أنظمة محاكاة الملفاتَ

وَقتْ ثابتَ (t)

- يشتقّ رياضياً مِنْ المعادلة $y = 1 - e^{-t/t}$
- الوقت الذي يأخذه النظامِ للارتفاع إلى 63.2 % مِنْ الخطوةِ الكليّةِ
- يَصِلُ 99.8 مِنْ القيمةِ النهائيةِ في غضون ستّة ثوابت

النظام السائل نموذجياً يأخذ وقت استجابة أقل مِنْ دقيقةِ 1 ، بينما يأخذ نظام الملفات وقت استجابة حوالي 33 دقيقةِ.

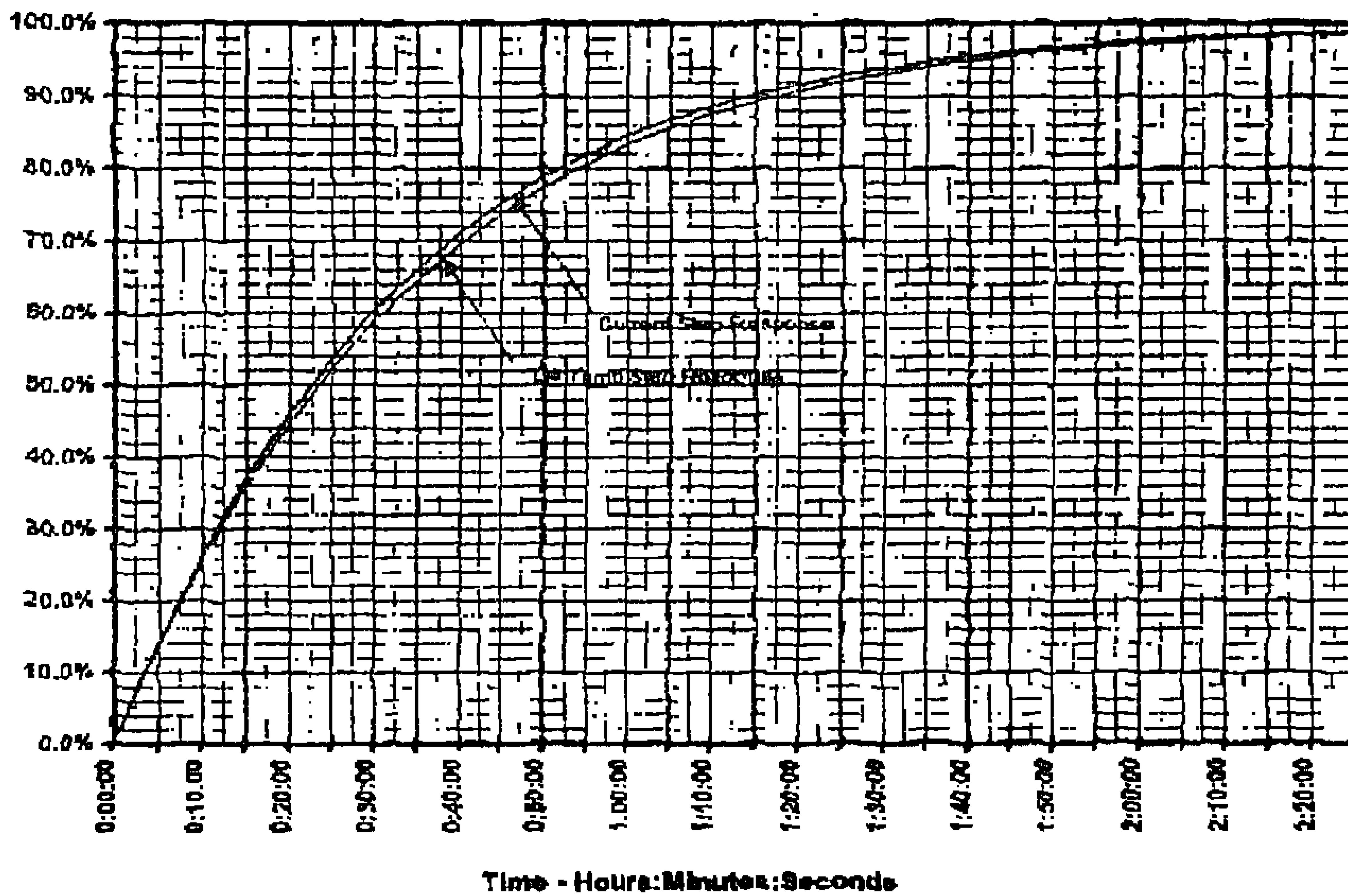
104 Liquid Temperature System Response Time



Oil well response times

شكل (11–29) وقت استجابة النظام السائل

104 ANSI Heater/Well Winding System Response Time



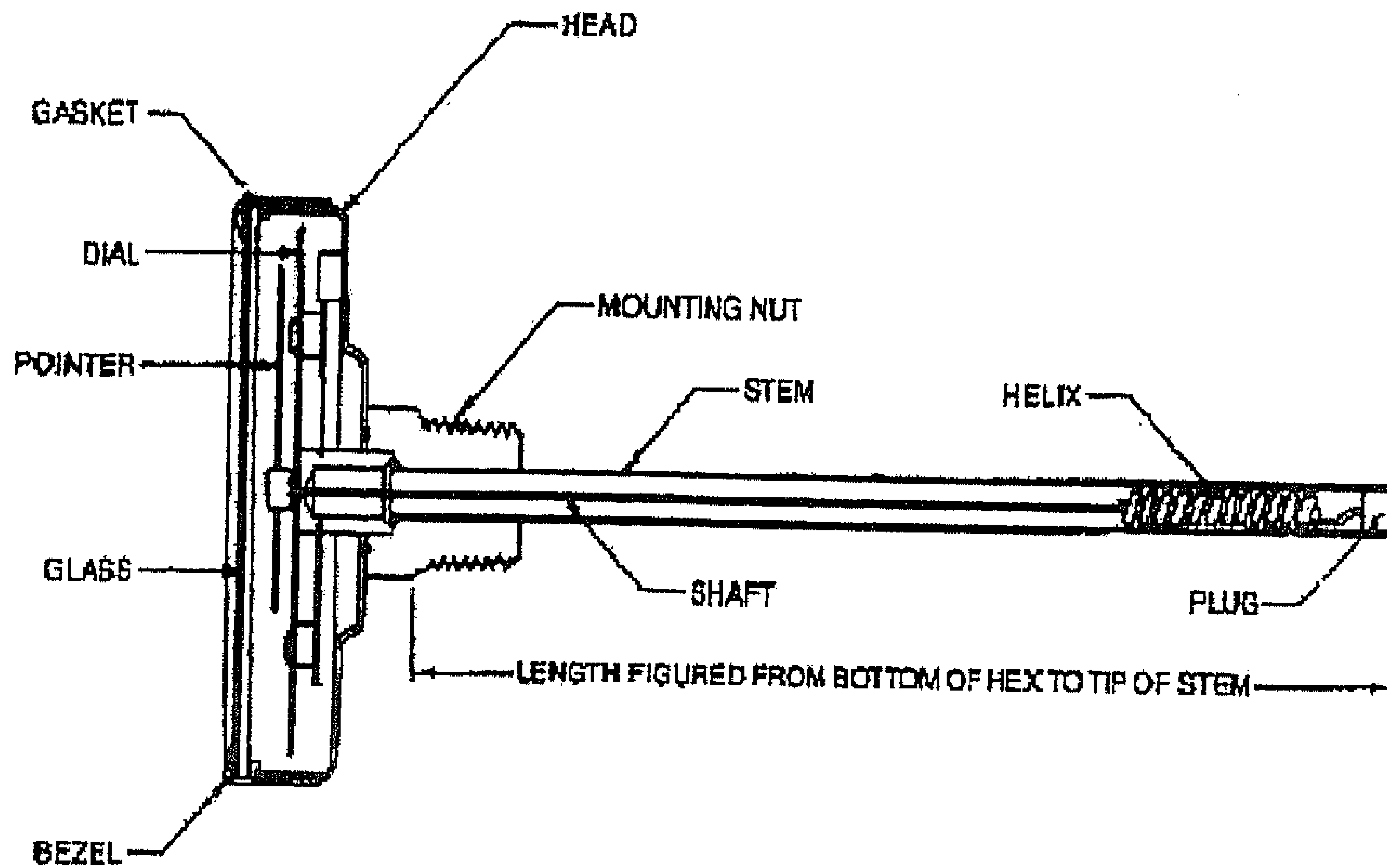
Winding response times

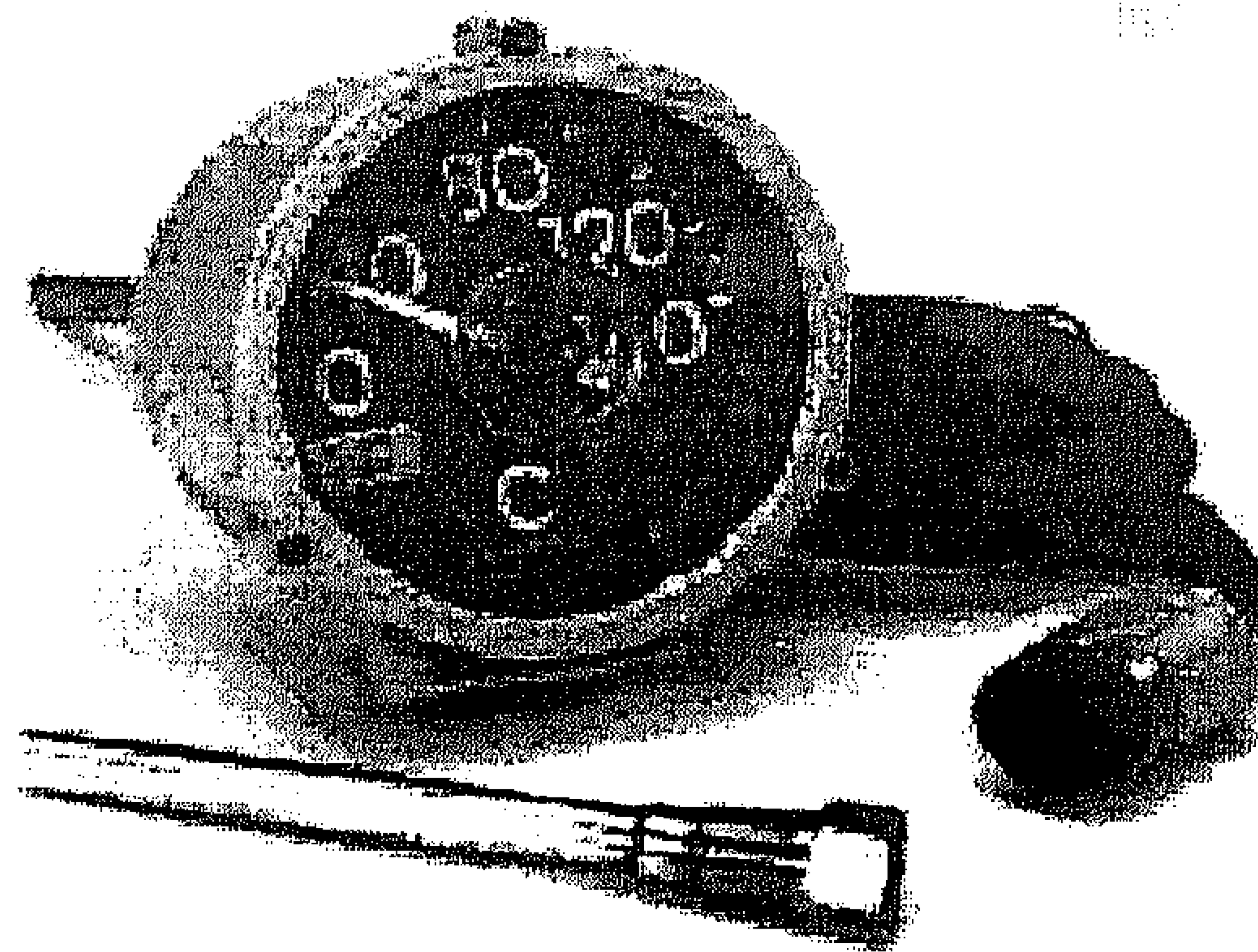
شكل (11–30) وقت استجابة نظام الملفات

أنواع أجهزة القياس

الحساسات ثنائية العنصر

- آلية دافعٍ مباشرةٍ
- نموذجياً أقل تكلفة ، أقل دقة
- تستعملَ للإشارةِ والسيطرةِ البسيطةِ

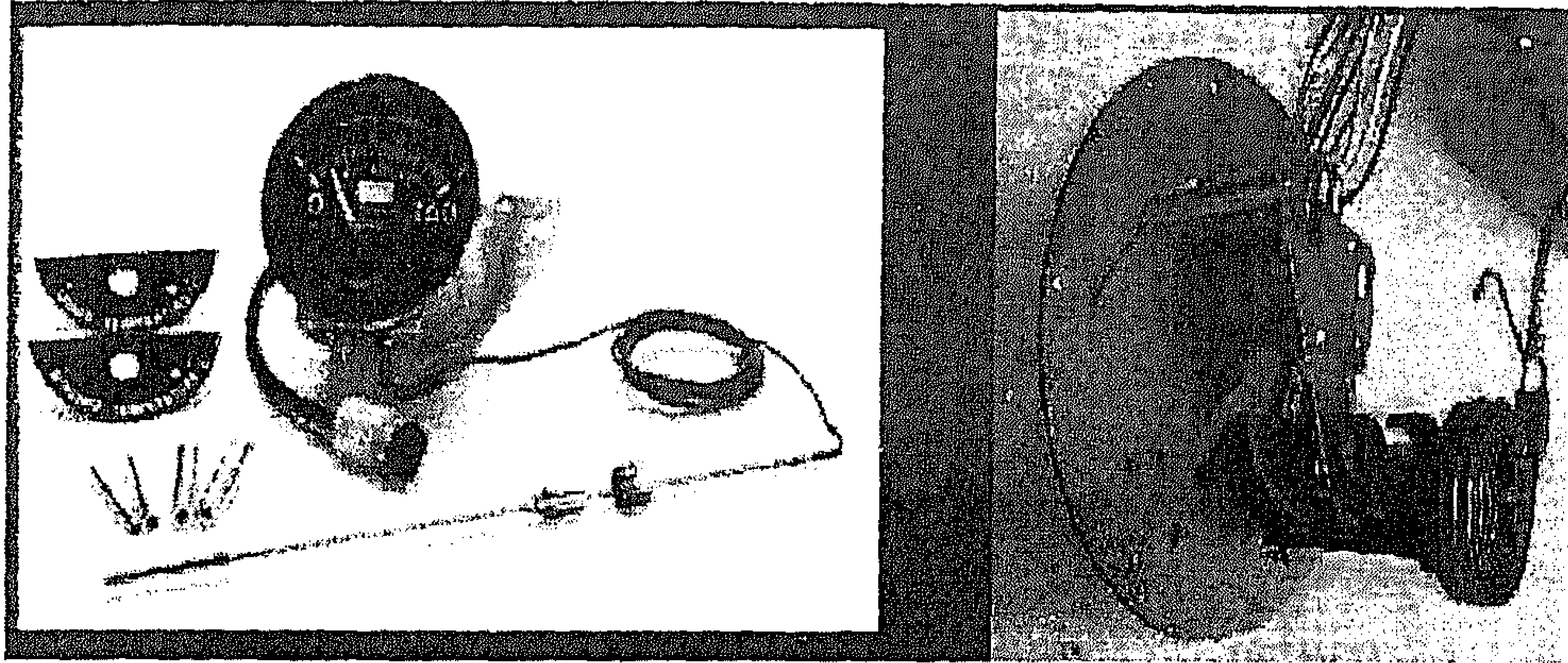




شكل (11-31) الحساسات ثنائية العنصر

الحساس الشعري (من نوع بصلةِ أو بعيدِ)

الكابل يملأ سائل أو غازٌ في مستوى الزيت العلوي، مقياس في مُـستوى البـصرِ تقوم بوظائف الإشارة (البيان)، التحكم، و الناتجِ البعيد .



Capillary sensors

شكل (11-32) الحساسات الشعرية

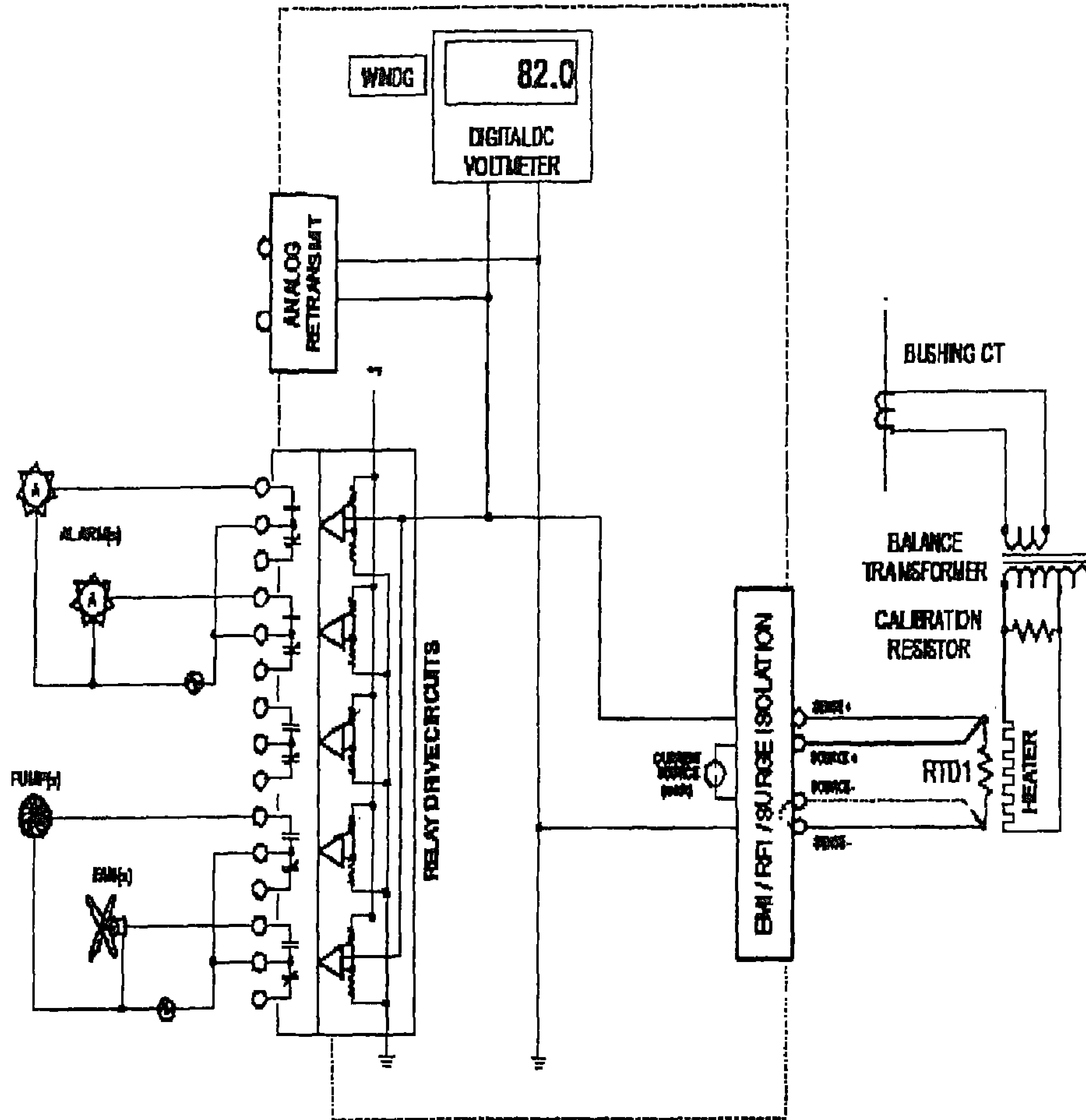
مقياس درجةِ حرارة اللفاتِ

التقنيات الحالية: الأجهزة الإلكترونية الطبيعية .

محاكاة البئر(العمق أو التجويف) الحراري بواسطة الإلكترونيات المتناظرة .

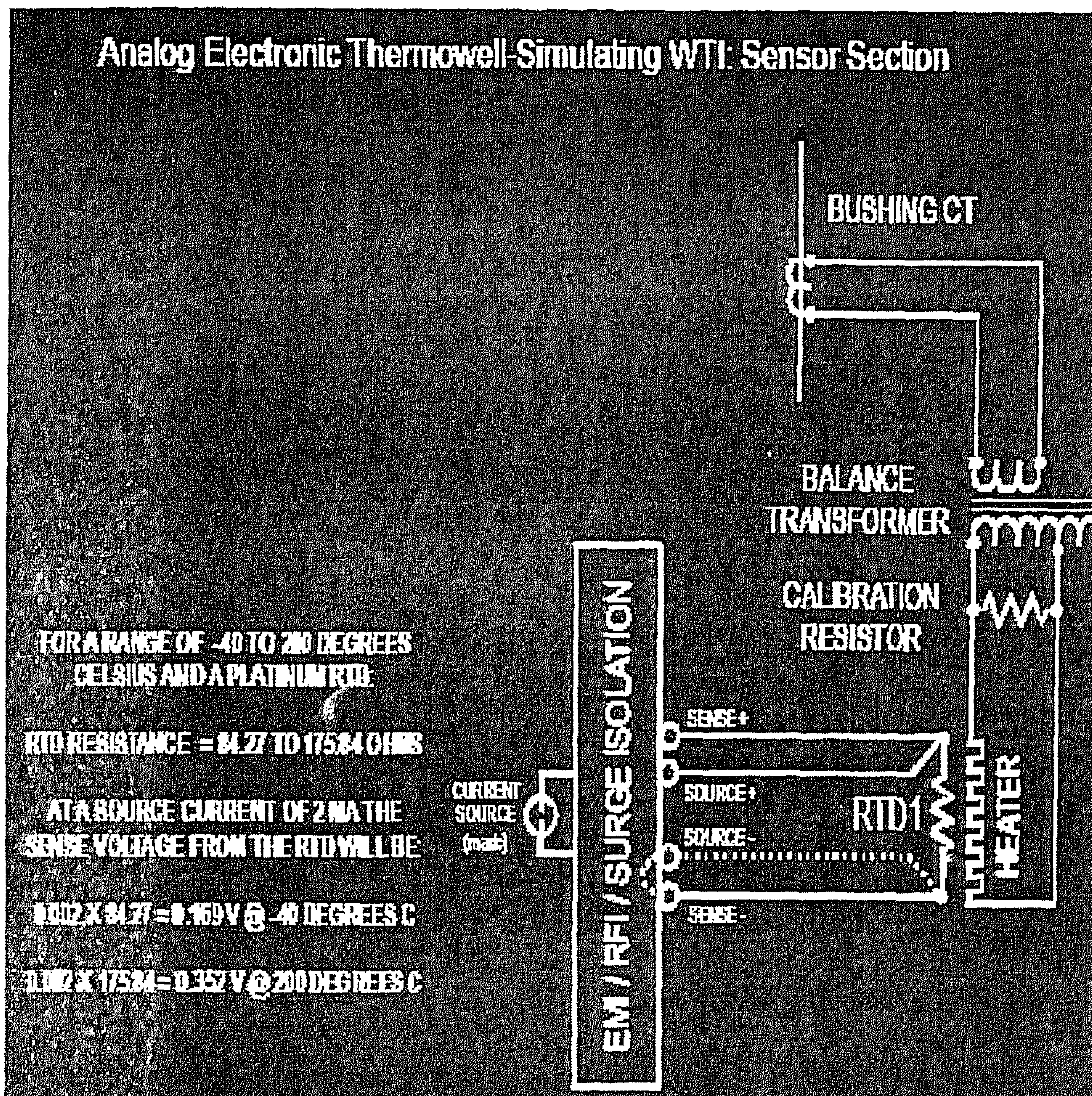
اشتقاق الاسمِ:

- محاكاة مصدر درجةِ حرارة الملفات بواسطة العمق الحراري .
- العروض والإنذار يتم تشغيلها بشكل كهربائي .



Analog electronic Thermowell-simulating WTI

شكل (11-33) محاكاة البئر(العمق) الحراري بواسطة الإلكترونيات المتناظرة



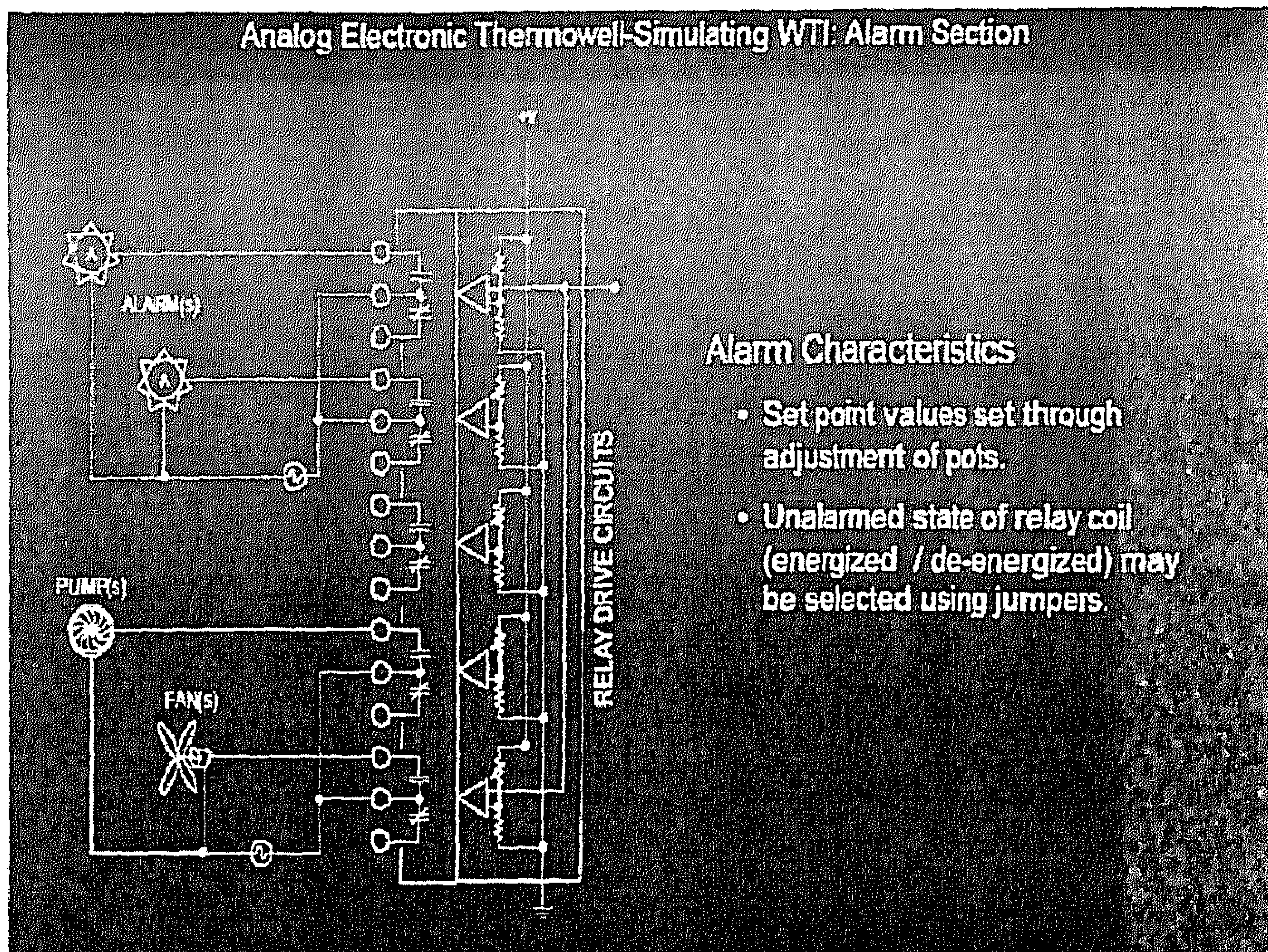
شكل (11-34) جزء الحساس – المحاكاة الحرارية بواسطة الإلكترونيات المتناظرة

العمق الحراري المسخن

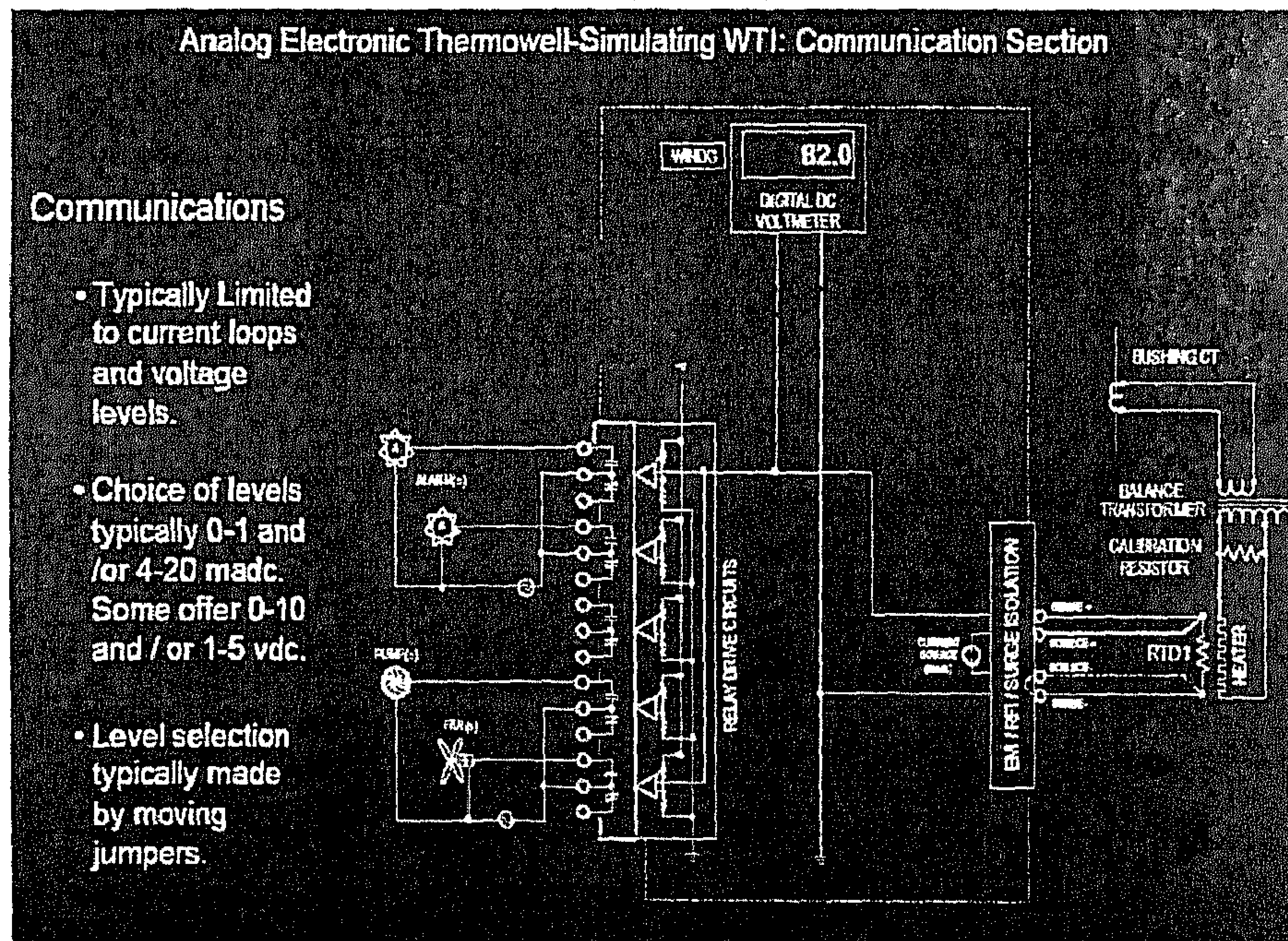
درجةُ حرارة الزيت تَحيّزُ المحاكي إلى درجةِ حرارة الرصيفِ .

تَرْفعُ المدفأةُ درجةَ حرارة الرصيفَ إلى نفس درجةِ الحرارة كالبقعة الساخنة .

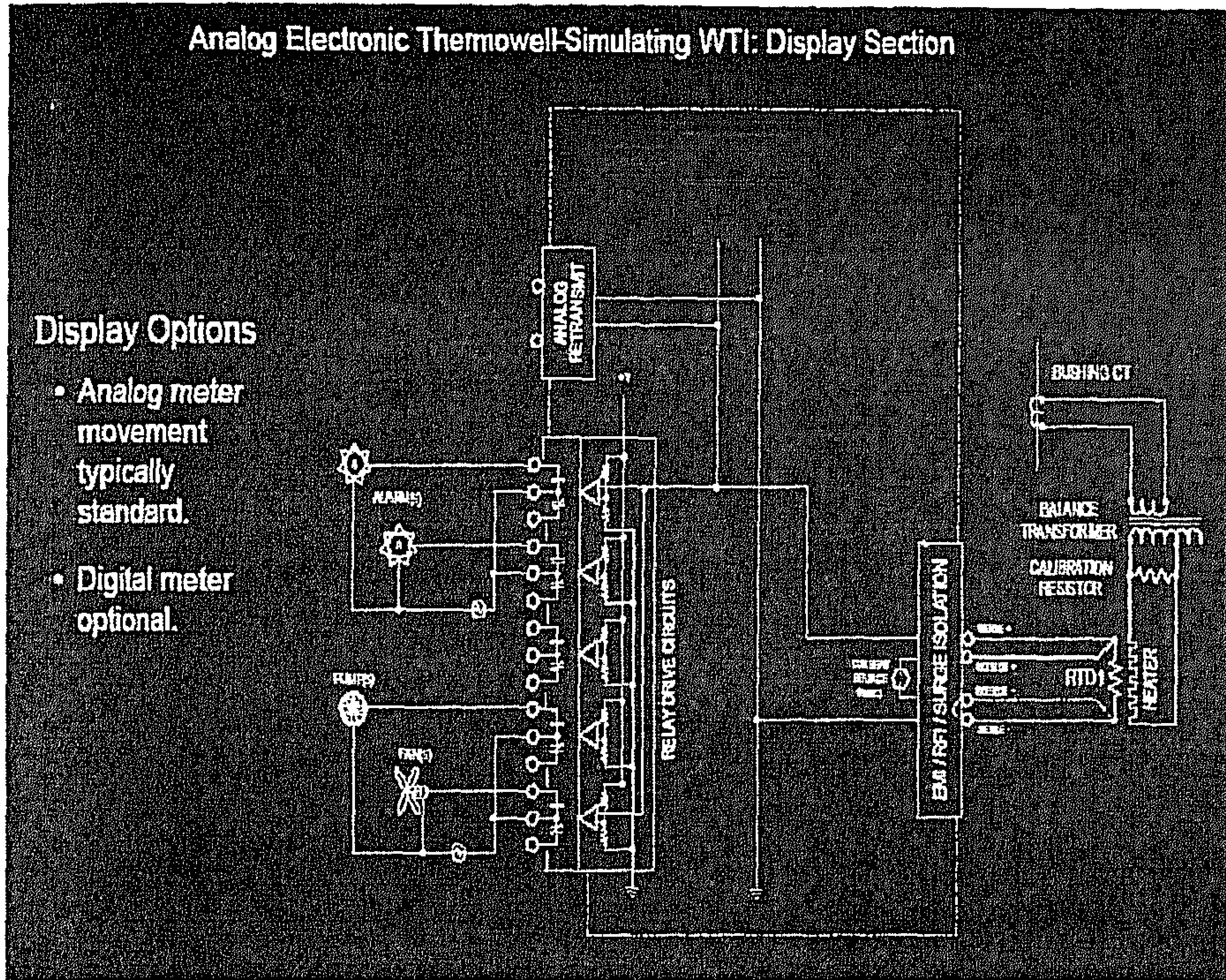
مبين درجة حرارة الملفات يَقِيسُ درجة العمق الحراري ببساطة خلال مقيـــاسِ مقاومةِ RTD resistance .



شكل (11-35) جزء الإنذار



شكل (11-36) جزء الاتصالات



شكل (11-37) جزء عرض البيانات

المحاكاة الحرارية بواسطة الإلكترونيات المتناظرة: الاستجابة والدقة

الاستجابة لتَثبيت الأحمالِ

- المحاكاة الحرارية للملفات يَجِبُ أَنْ يُفكّرَ كنظام درجةِ حرارة الملفــات، يَشْملُ جهازَ القياس، حساس (RTD) وتجويف حراري وسخان(مدفأةٍ) .
- جهازِ القياس إلكترونيا آنية عملياً بسبب المكبــراتِ التــي لهـــا خــرج منخفضِ وإشارةِ متغيرة ببطئ.
- الحساس (RTD) وقت رَدٍّ في طلبِ ثواني الوحدةِ.
- مجموعة التجويف الحراري thermowell و السخان لها وقت استجابة يقاس في صورة عقودِ مِنْ الدقائق إلى أول 60 % مِنْ زيـــادةِ الحمـــلِ ووحدةِ الساعةِ للفترة 40 % النهائية .

الدقـــــة:

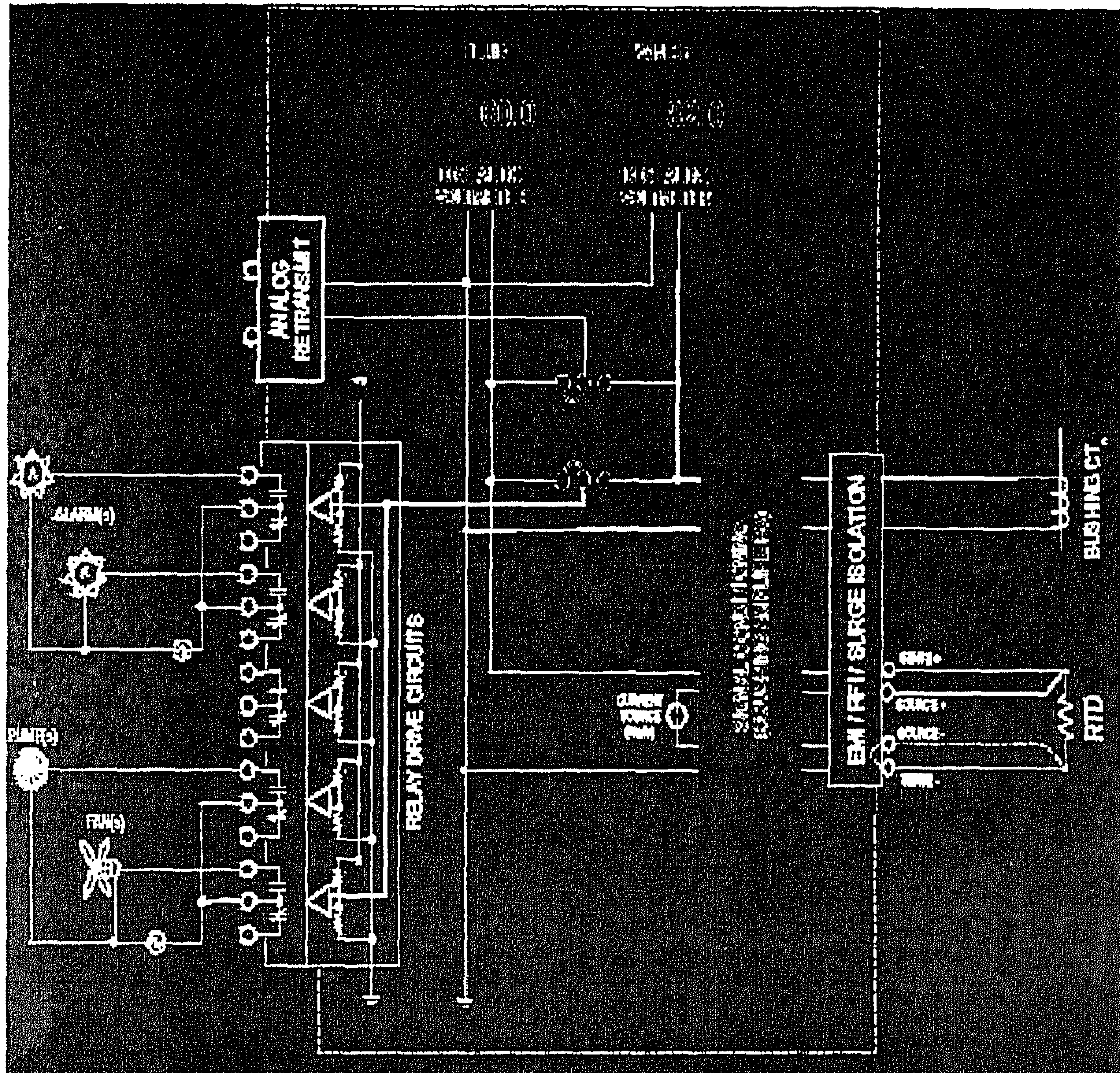
- إنّ جهازَ القياس يدرج أوميترOhmmeter ذو دقة عالية ، لقياس RTD. دقة قياسِ المقاومةَ يُمكنُ أنْ تَكُونَ ضمن كسر صغير من المائة.
- إنّ عدم التأكد RTD تُتعلّقُ بدرجةِ الحرارة النظريةِ إلى منحنـى مقاومـةِ specifications المواصفات الدولية مثـل DIN-43760-1980 ، مقاومـة عالية النوعية سَيكونُ عِنْدَهُ حيرةَ أقل مِنْ ±0.6 درجة في 200 °C.
- thermowell الساخن يُدرّجُ إلى قيمة تيار معيّنة، لإرتفاع درجةِ حـرارة رسمي ثابتٍ معيّنٍ. تَدَرُّج القيمةِ التيارِ تحسب عند نقطة معينة ما أثناء دورةِ التطويرَ بوَضْع تيار على مدفأةِ thermowell بينما thermowell غَاطِسُ في سيطرَ على حجمِ الزيت، تحت شروطِ المختبرِ.
- شروط مختبرِ تَنْسخُ بشكل نادر في المحولاتِ بسبب حجومِ أكبرِ وديناميكـا تدفق نفطِ مختلفةِ. كنتيجة، تدرّجُ التيارَ قَدْ لا يَكُون دقيق بشكل متوقع لكُـلّ الشروط.
- فواصل رَدّ thermowell الزمنية الساخنة درجة حرارة مُتَعَرّجـة فعليـة، وبينما أخطاء نتيجةِ الكبيرةِ تَجِدُ في النقاطِ الآنيةِ بمرور الوقت.
- إنّ الحيرةَ الكليّةَ لتَقليد thermowell مبين حرارة الملفات مبلغُ المكوّنـاتِ الفرديةِ. بالرغم من أن التحقيق وجهازِ القياس لَرُبَّما لَهُما حيرةُ أقـل مِـنْ درجة، خطأ thermowell قَدْ يَزِيدُ الحيرةَ الكليّةَ إلى العشراتِ مِنْ الدرجاتِ في الشروطِ العابرةِ.

درجة حرارة الملفات باستخدام المحاكاة الداخلية بالالكترونيات التناظرية

- إشتقاق الاسمِ:
- ¢ العروض والإنذار يَعملانِ بشكل كهربائي
- ¢ درجة حرارة الملفات تحاكى بتَربيع وجَمْع المكبراتِ amplifiers

الميزّات

- لا يستخدم تجويف ساخن .
- مصادر مقياسِ ثنائيةِ .
- عروض ثنائية .
- إنذار قابلة للاختيار .
- مصدر إعادة إرسال قابل للاختيار .



Analog Electronic Internal- Simulating WTI

شكل (11-38) درجة حرارة الملفات باستخدام المحاكاة الداخلية بالالكترونيات التناظرية

درجة حرارة الملفات باستخدام المحاكاة الداخلية بالالكترونيات التناظرية

الاستجابة

تيار أجهزة القياس ووقتِ استجابة الدائرةِ RTD يكون آنيا أو لحظياً عملياً.
إشارة أجهزة القياس ودوائر التهيئةُ تَحتوي تَــأخيراتَ tunable والتـــي تـــضاعف استجابة الملفات الفعلي. الاستجابة يُمْكِنُ أَنْ تتغَمّ نظرياً مِنْ لحظية إلى عِدّة ساعات.
لذا فان رَدّ فعل جهازِ القياس دالة في الدقةِ والتي تعرّف بواسطة منحنى الاستجابة لمحول معيّن وهو يصدر من الشركة المنتجِة لمبين حرارة الملفات.

الدقة:

إنّ قاعدةَ الدقةَ لمجموعةِ الدوائر وتحقيق قياس الآلةِ لهذا النوعِ من مبينات حرارة الملفات تماماً مثل التجويف الحراري thermowell وتكون نموذجياً أقــل مِــنْ 1 درجةِ مئويةِ.
إنّ قاعدةَ الدقةَ لتَربُّع الآلةِ ومجموعةِ دوائر التأخيرِ مشابهة للتجويــف الحـــراري لَكنّها جوهرياً أكثر توقّعا وأكثرْ تكراراً. إنّ الدقةَ مستندة على مجموعـــةِ الـــدوائر والتي يُمْكِنُ أَنْ تَتعقّبَ منحنى التحديدَ. التتبع يَجِبُ أَنْ يَكُونَ جيّـــد جـــداً، حـــوالي 2 إلى 3 درجاتِ.
قاعدة الدقةَ للنظامِ ما زالَتْ تَعتمدُ على الدقةِ التي به تَدَرُّج منحنى المعايرة تَتعقّبْ الخصائص الحرارية الفعليّة للفّاتِ. وهذه من الصعب لتَعملُ بمكبراتِ الاســـتجابة الأسّيةِ البسيطةِ.

محاكاة درجة حرارة الملفات باستخدام الالكترونيات الرقمية

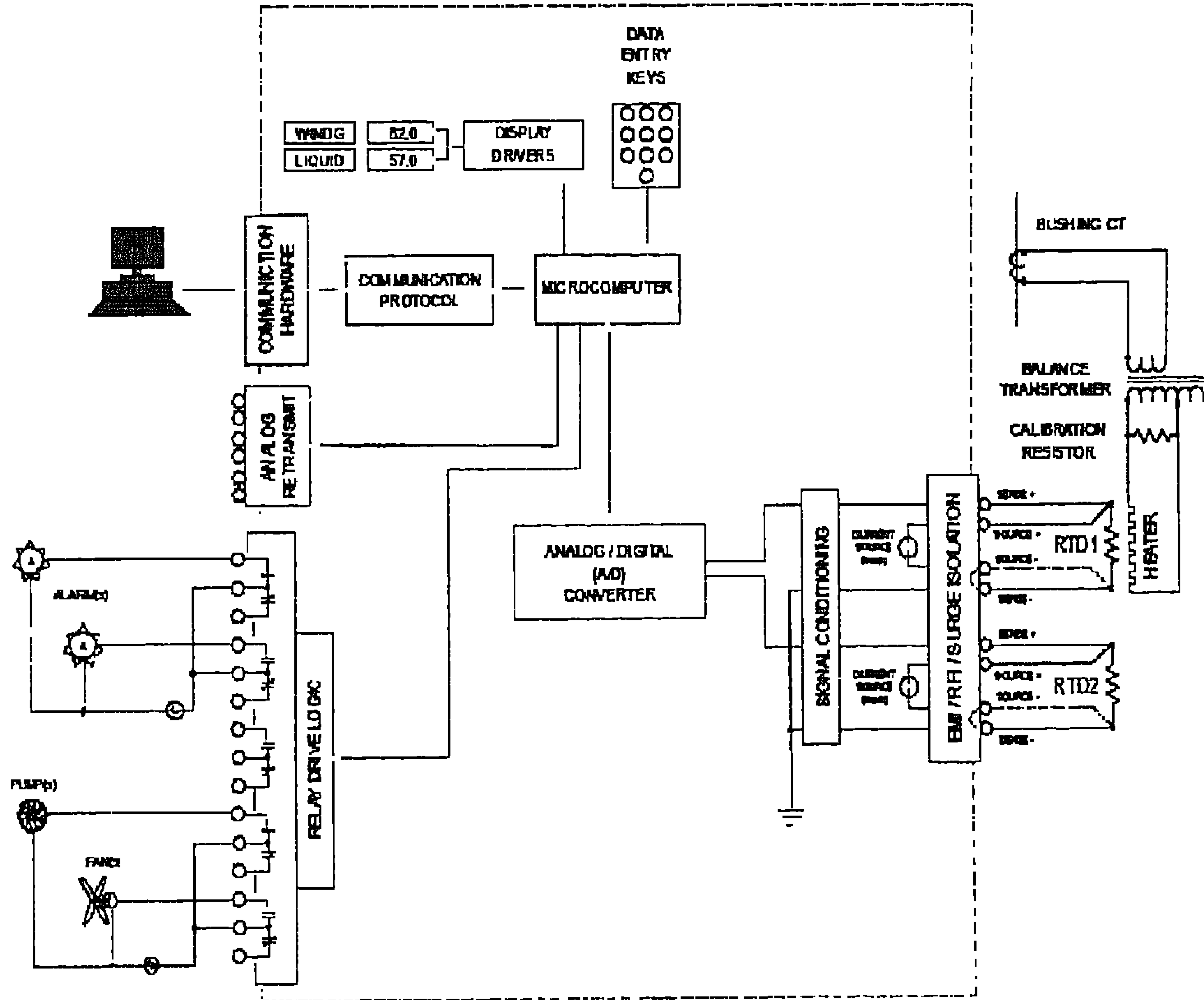
اشتقاق الاسمِ:

- مصدر درجةِ حرارة الملفات هو التجويف الحراري المسخن thermowell
- قِيَم الدخل تحولِ فوراً إلى أعداد رقمية (ثنائية)
- كُلّ مسارات الإشارات الداخلية رقمية

محاكاة درجة حرارة الملفات باستخدام الالكترونيات الرقمية

ميزّات مسار الإشارة:

- قناة دخل واحدة أو اثنتان، المحدودة بعددِ قنوات المغير A/D
- قِيَم دخل تناظريةِ تضخَمْ وتَرشَح بمجموعةَ دوائر تهيئة الإشارةِ
- إشارةً المكبرة تحول فوراً إلى القِيَمِ الرقميةِ
- تقَـرأ القِـيَم الرقميـة مِـنْ A/D بواسـطة المعـالج(الحاسـب الـدقيق) microcontroller



Digital electronic simulating WTI

شكل (11-39) محاكاة درجة حرارة الملفات باستخدام الالكترونيات الرقمية

الإتصالات الرقمية

- أجهزةِ مسلسل serial أو إيثرنت Ethernet
- بروتوكول الاتصالات نموذجياً تشمل : ModBus, DNP-3, Simple ASCII
- الإتصالات المتناظرة
- تعطي النواتجُ المتعدّدةُ نموذجياً
- حلقة التيار (0–1 mAdc، 4-20 mAdc)

مصدر فولطيةِ (0–10 فولت ، 1–5 فولت تيار مستمر)

العرض المرئي

- الأنواع المتاحة من اللمبات LED و الشاشات LCD
- شاشات العرض المتعدّدة أو الوحيدة التحريك
- الإنذار وبيان فشلِ الحساس

التحكم

- سواء الشدّة وقادرة على التشغيل في كُلّ الظروف
- المصفوفة ولوحات المفاتيح المتراصة

التَقليد الإلكتروني الرقمي لمبين حرارة الملفات : الاستجابة والدقة

الاستجابة

وقت رَدّ فعل (استجابة (جهازِ القياس دائرةِ RTD آنيُ (لحظي)عملياً.

نظام مقياسِ مبين حرارة الملفات ما زالَ خاضعُ إلى وقتِ استجابة التجويف الساخن والتي سبق ان ذكرنا أنها بطيئة.

الدقة

نسبة الدقة في جهاز القياس نموذجياً أقل مِنْ ±0.01 درجة مئوية م°.

دقة الكابلِ تماماً مثل الأنواع الأخرى من مبينات حــرارة الملفـــات ، وهـــي نموذجياً أقل مِنْ ±0.06 درجة م°.

يَعاني نظامْ مبين حرارة الملفات مِنْ الخطأِ مِن قِبل التجويف الساخن.

حساب درجة حرارة الملفات باستخدام الالكترونيات الرقمية

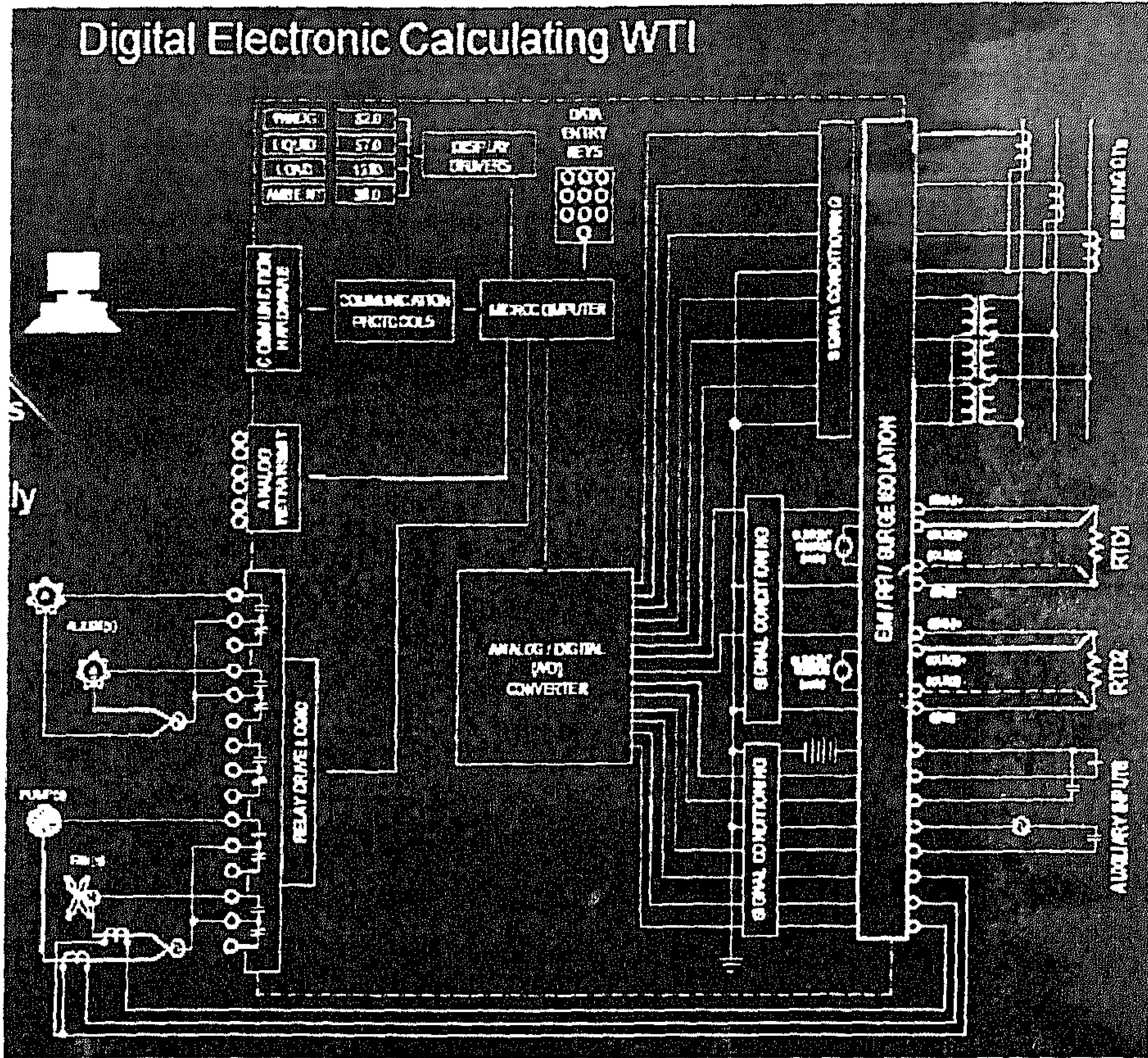
Digital Electronic calculating WTI

مصدر التسمية

الخصائص الحرارية للمحولِ تنمذج رياضياً وتحسب درجة الحرارة الملفـــات مِنْ المعادلاتِ الموجودة في النموذجِ WT model ، و تُكرّرُ المعادلات النموذجية بشكل مستمر

المقياس الكهربائي يمكن أن يُستَعملَ ليقرر الآتي:

- القدرة التي يحَمل بها المحولِ
- القدرة المستعملة بواسطة أجهزة التَبريد المساعدةِ
- يكتشفْ الفشلِ التَبريد المساعدِ بالإضافة إلى التشغيل الصحيحِ



شكل (11-40) حساب حرارة الملفات بالالكترونيات الرقمية

مبين حرارة الملفات المُقَدّر تَقديراً الإلكتروني الرقمي: الاستجابة والدقة .

الاستجابة

وقت استجابة مُحدَّدُ بأوقاتِ الاستجابة المتراكمةِ للحساسات، والمغير A/D و كفاءة البرنامج الخاص بالمعالج الدقيق microcontroller

وقت الاستجابة لمحول التيار RTD's و CT's لحظياً.

وقت رَدّ مفتاح التيار في حدود عدة أجزاء من الألف من الثانيةِ.

زمن التحويل وانتخاب للمحول(المغير) متعدّدِ القناةِ في حدود وحــداتِ مــن المللي ثانيةِ.

المعالجات الدقيقة يُمْكِنُ أَنْ تُنفّذَ العديد مِنْ تكرارِ حلقةِ حسابِ درجةِ الحرارة الملفات بين دورات تحويل المغير.

وقت رَدّ لذا يُمْكِنُ أَنْ يَكُونَ أقل مِنْ الثانية الواحدةِ ، لَكنَّه يُحدّدُ نموذجياً إلــى الثانية الواحدةِ لأسبابِ عمليةِ MMI.

الدقة

دقة مبين حرارة الملفات المُقدّر تَقديراً مستندة على دقةِ المقــاييسِ الطبيعيــةِ والافتراضية

المقاييس الطبيعية

نسبة الخطأ في المقاييسِ الطبيعيةِ مثل درجةِ حرارة الكابل ومقدارِ التيار أقل مِنْ واحد بالمائة.

نسبة الخطأ في الموقّتاتِ الداخليةِ internal timers التي تُنظّمُ ثوابتَ الوقــتِ في معدل 0.4 جزء في المليون.

المقاييس الافتراضية

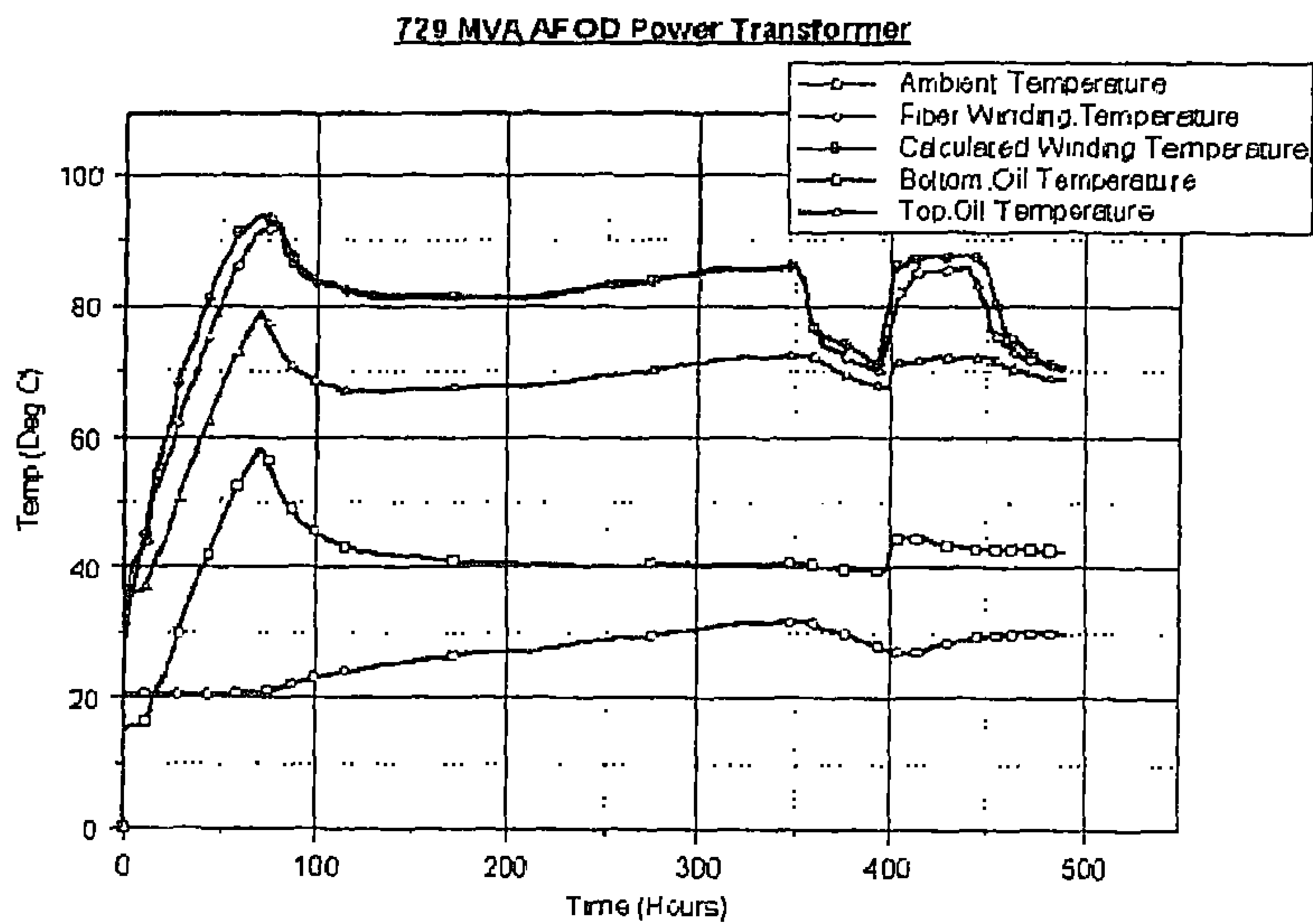
يطور منتجي مبين حرارة الملفات خوارزمية درجةِ حرارة الملفــات (مبــين حرارة الملفات) باستعمال معادلاتِ رياضيةِ معقّــدةِ التــي تَــصِفُ لمحــةَ thermo-dynamic الديناميكية للمحولاتِ. مبين حرارة الملفات أحياناً يسمى باسم نموذجِ حرارة الملفات WT model.

مبين حرارة الملفات يُسنَدُ كثيراً كليةً أو مَفْهُومياً على الوثائق المقبولة عالمياً مثل IEEE C57.91-1995, BS 7735 and/ or IEC 354:1991

يُنتجُ مبين حرارة الملفات نقاط البياناتَ كما تَحْسبُ. هذه النقاطِ البياناتِ يمكن أن تُستَعملَ لرسم المنحنيات القياسيةِ، التي يُمْكِنُ أَنْ تُقَارنَ إلى لمحــةِ حيــاة المحولَ الحرارية.

لأن مبين حرارة الملفات المحسوب يَستعملُ نفس المعادلاتِ والثوابتِ كما تُستَعملانِ لبِناء المنحنياتِ القياسيةِ، ونسبة التباين لمبين حرارة الملفات بالنسبة إلى المنحنى القياسيِ المُطلقِ.

على أية حال؛ مبين حرارة الملفات فقط دقيق كخوارزميةِ منتجِ مبين حرارة الملفات ، بيانات تصميمِ منتجِ المحولَ وإدخال البيانات الدقيقَ.



شكل (11-41) نموذج حرارة الملفات

التقنيات المستقبلية

تطوير المكوّنات لنظامِ مبين حرارة الملفات

1 - الحساسات

حساسات الألياف الضوئيةِ الراسخةِ

أجهزة قياس الألياف الضوئيةِ النقّالةِ.

حساسات التصوير الموضوعة داخلَ التنك.

اللاسلكي، أدوات حرارية ذاتية التشغيل توضع في الملفات.

تستند على النانوتكنولوجي، حساسات حراريةِ مستقلة ذاتياً.

2 - أجهزة قياس

ميزّات أكثر مساعدةً مثل الملامسات الجافة، ومراقبة حالة الزيــت والحالــة الكهربائيةِ

الثقة الأعلى، إلكترونيات أكثر ُصلابة بيئياً.

مرونةِ خيارات الاتصالات الرقميةِ ؛ أكثر وأسهل لتّشكيل البروتوكول.

3 - خوارزميات درجةِ حرارة الملفات

بارامترات ترتيبِ مبين حرارة الملفات القياسية.

النقل الإلكتروني لبياناتِ تصميمِ المحولِ الخاصة بمؤشراتَ درجـــةِ حـــرارة الملفات.

الاستنتاجات

المقياس المباشر مبين حرارة الملفات

- الألياف الضوئية ما زالَتْ حديث الساعة في الكثير مـــن مـــشاريع البحـــث والتطوير والتجهيزات الخاصة.
- الليف الضوئي جوهري (مُوَزّع) لَهُ خصائص جذّابةُ لكـــن لَيـــستْ شـــعبيةَ بسبب التكلفةِ العالية.
- كلفة جهازِ القياس الذي يعمل بالألياف الضوئية الجوهريِ قَدْ يُنْتَـــشَرُ فـــي الكثير مِنْ المحولاتِ، لكي يُستَعملَ كأداة معايرة لمبينات حـــرارة الملفـــات غير المباشرة.
- الليف الضوئي العرضي (مصدر نقطةِ) يكون عمليًا للعديد مِنْ التطبيقـــاتِ لكن معرفةَ النقاط الأكثر سخونة يكون هام. البقعة الأكثر ســـخونة تكـــون أحياناً لَيستْ في الملّفات.

مبينات حرارة الملفات الغير مباشرة القياس

- محاكاة أنظمةَ مبين حرارةَ الملفات بطيئة الاستجابة علـى تغييـراتِ حمـلِ الخطوةِ.
- بيانات دراسةِ الأجهزة لَيستْ متوفرةَ عموماً للتحليلِ.
- أنواع جديدة مِنْ المحاكيات لَها كتلةُ حراريةُ أقل؛ قَدْ تستجيب أسرع.
- أجهزة قياس إلكترونية تَقتربُ مِنْ إحصائياتِ التقنيةِ البالغةِ.
- مَنْ الضَرُوري أنْ تحَسن المناعة ضد التداخل الالكترومغناطيسي EMI/RFI واندفاع الجهد الزائد.
- خوارزميات حرارة الملفات تحتاجُ مجموعة قياسية مِنْ المنحنيات لتدعيمها العام .
- مجموعات ميزّات مبين حرارة الملفات وسطية تَتوسّعُ
- إتفاقيات اتصال أكثرِ رقميةً متوفرة
- المرافق توحد على مبين حرارة الملفات التي تناسبها

الصناعة

- مُنِعَ التبادل المجّاني مِنْ المعرفةِ في الماضي .
- قضايا سريّةِ تَحْكمُ كشفَ تفاصيلِ التصميمِ.
- طرق جديدة لحِماية سرية التصميمِ بينما يجب أنْ تنقل بيانـاتَ التـصميمِ الضروريةِ.

الفصل الثاني عشر

المحولات لأغراض خاصة

الفصل الثاني عشر

المحولات لأغراض خاصة

إن الاختلافات الرئيسية لمحولات المغير الاليكتروني عن الأنواع الأخرى من المحولات هو أن تيارات الحمل تحتوي على نسبة أعلى من التوافقيات نظرا لتشوه الموجة. المغير الاليكتروني إلى المحول هو من أسباب تشوه موجة التيار.

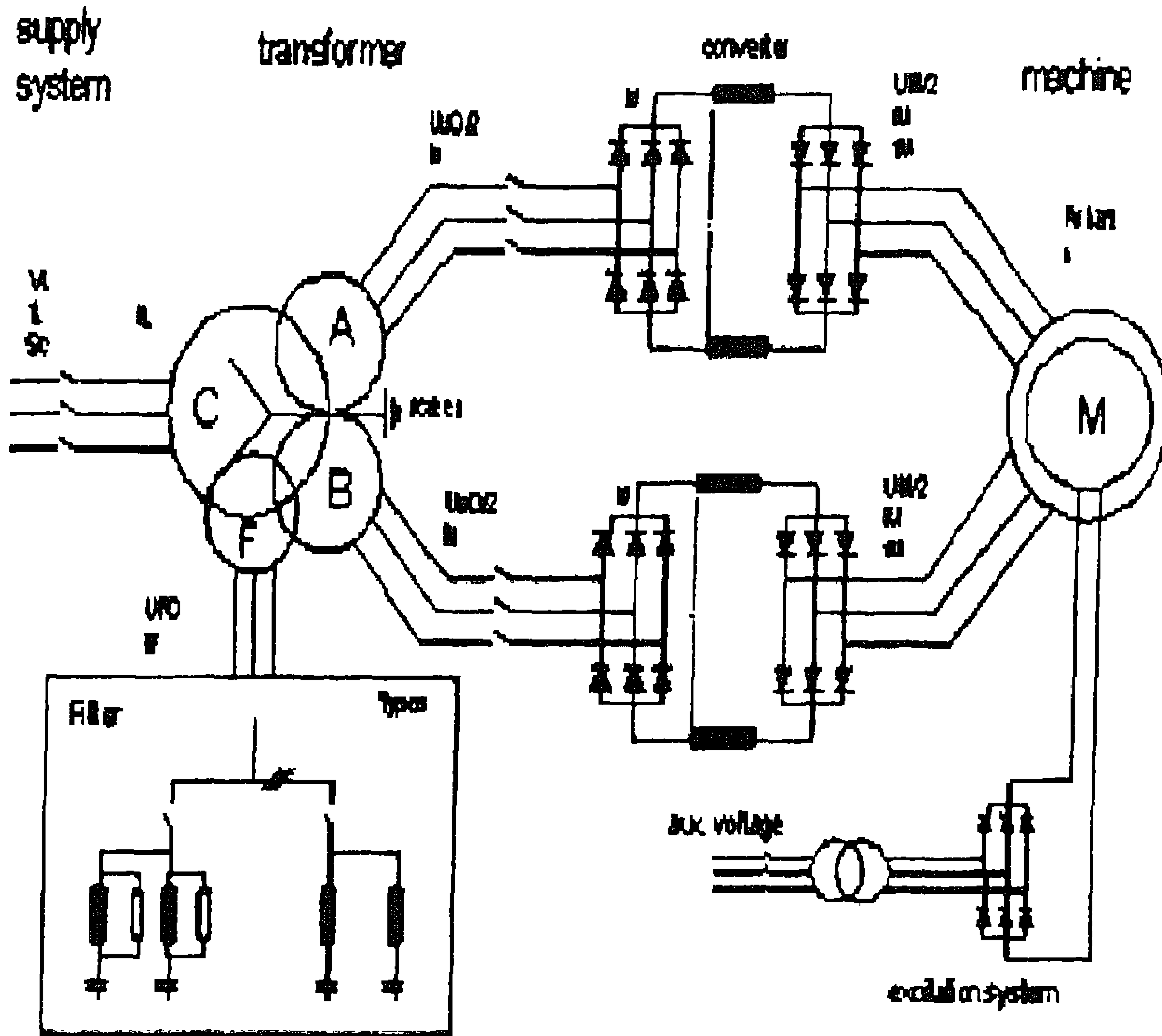
وهذا التيار المعني يؤدي إلى ارتفاع الخسائر & درجات الحرارة في المحولات. أنظمة الشبكة تتطلب أيضا الحد من تشويه التوافقيات.

الاستخدامات الأكثر شيوعا لمحول المغير الاليكتروني Converter Transformer توجد في التطبيقات مثل :

- مغير سرعة المحركات (VSD)
- الكتروليت الألومنيوم Aluminium electrolysis
- فرن القوس الكهربي DC arc furnace
- الأفران Graphitizing furnaces
- المحطات الفرعية للجر الكهربائي Traction substations
- تكرير النحاس

محولات مغيرات السرعة VSD تستخدم في التطبيقات التي يكون فيها متغير السرعة المطلوبة على عامود المحرك. VSD تستخدم في طائفة واسعة من التطبيقات مثل محركات مصنع التصفيح و ونظم الدفع في السفن ومحركات رفع الألغام ، و دوارات الرياح . ويوضح الشكل الوارد أدناه الرسم البياني الدائرة الأساسية لنظام التكوين لمغيرات السرعة VSD لتوربينة الرياح Wind Turbine. المحول هو وحدة 12 نبضة التي تغذي اثنين من المعدلات 6 – نبضة التي ترتبط باثنين من العاكس ، وهذا بدوره مرتبط إلى محرك متزامن. المحول

هو أيضا مجهز بملف ثالث ، الذي يستخدم للحد من تشويه التوافقيات للجهـد فـي نظام الإمداد ذو الجهد العالي وزيادة معامل القدرة للتحميل.

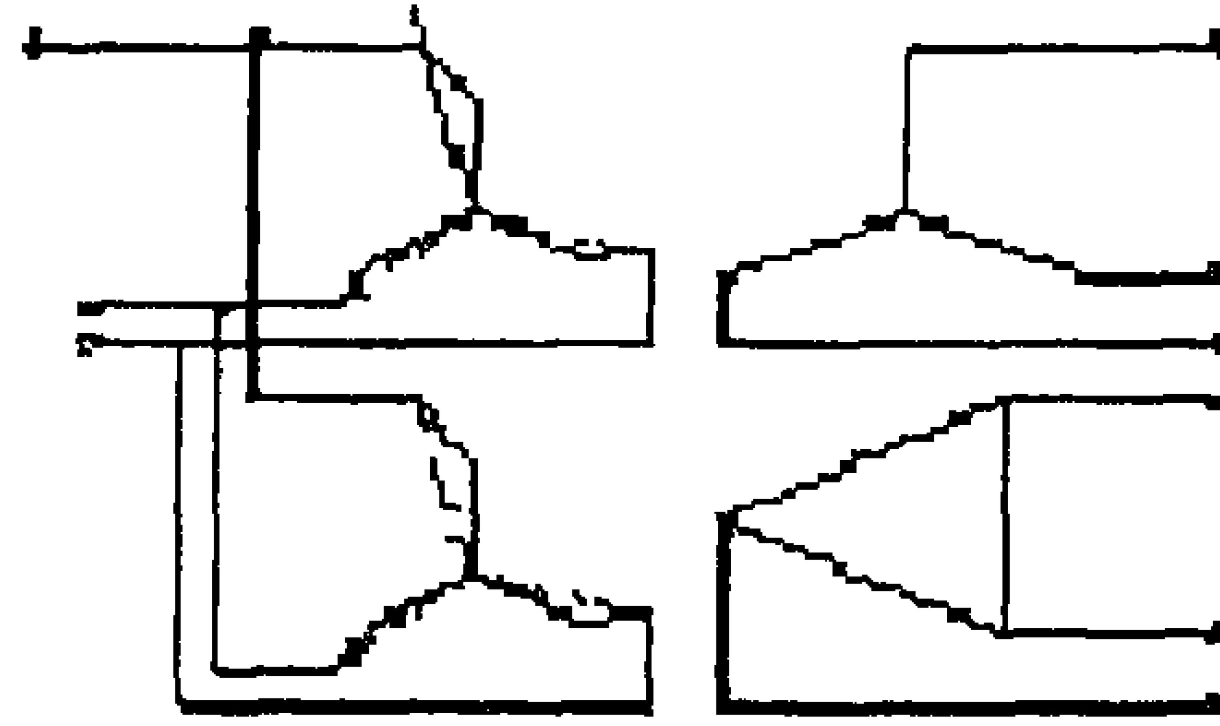


الشكل (12-1) الدائرة الأساسية لنظام التكوين لمغيرات السرعة VSD لتوربينة الرياح Wind Turbine

التطبيق الرئيسي لمحول المغير الكهربائي هو الكتروليت الألمنيوم. يتميز هذا المحول بارتفاع تيارات الثانوي ، وجهد الجانب الثانوي حتى 1500 و جهد بمدى تنظيم كبير. بسبب مقطعات التيار ، تكون التيارات في اللفات ليست علـى شـكل منحنى دالة الجيب لكن تحتوي توافقيات ، والتي يجب النظر فيها عند تـصميم

المحول. وفي الصناعة تم تصنيع وحدات المتكاملة للمحول والمغير الاليكترونـي للتيار المستمر لتصل إلى تيارات أكثر من 100 كيلو أمبير.

عادة ، أربع أو خمس أو ست محولات مغير اليكتروني توصل على التوازي لتغذية وعاء واحد لخط الألومنيوم. ويتوقف ذلك علـى درجـة الاضـطرابات المسموح بها على الشبكة و / أو على تيار مستمر الخـارج ، ويمكـن توصـيل المحولات مثل 6 ، 12 ، 24 ، 36 ، 48 نبضة أو نظام. الاضـطرابات علـى الشبكة & وعلى تيار الخرج المستمر تقل مع زيادة عدد النبضات. نظـام ال 12 - نبضة يمكن تحقيقه بتوصيل اثنان نظام 6 - نبضة مع حيود في الطور بزاويـة مقدارها 30 درجة بين النظامين. ويتحقق ذلك من خلال ربط واحدة 6 - نبـضة بنظام دلتا & و أخرى بنظام نجمة.



A Diagram for a typical unit for this purpose is a 12-pulse transformer with phase shift winding as show in the figure below.

شكل (12-2) رسم بياني لوحدة نموذجية لهذا الغرض لمحول 12 نبضة مع ملف إزاحة الطور.

يبني خط وعاء الالومنيوم النموذجي كنظام 48 نبضة مع أربعـة محـولات للمعدلات متصلة على التوازي. وفي هذه الحالة ، أربع وحدات 12 - نبضة مـع

لفات حيود طور مختلفة بناء هذا النظام. الزوايا التالية التحول زوايا ، 11 ، 25° ، 3، 75o، 3، 75o و 11 ، o25 ، يمكن تحقيق النظام 48 نبضة.

وكما ذكر ، واحدة من خصائص محولات المعدل لمـصانع الألمنيـوم هـي معدل تنظيم الجهد الكبير جدا ، من الصفر وحتى يصل إلى عدة مئات من الفولت.

حجم الجهد الثانوي يتوقف على عدد الأواني المتصلة على التوالي.

عندما تستخدم الثنائيات (الدايود) ، من الضروري جعل محول تنظيم منفصل مجهز بمغير خطوة على الحمل موصل على التوالي مع محول المعـدل لتنظـيم الجهد الثانوي. و محول التنظيم غالبا ما يوصل ذاتيا. في مـزيج مـع المعـدلات الصمام الثنائي ، وعادة ما تستخدم ال transductors لتنظيم الجهد بين خطوات مغير الخطوة على الحمل. و محول التنظيم الذي يغذي محول المعدل قد يكون بني في نفس المحتوى مع محول المعدل أو أنها قد تصنع وحدة منفصلة. وثمة إمكانية أخرى لتنظيم الجهد الثانوي هو استخدام معدلات الثايرستور ، والتي قد تحل محل محول تنظيم وtransductors. عندما تستخدم معدلات الثايرستور ، قـد يكـون كافيا لتجهيز محول المعدل مع مغير الخطوة بدون تحميل (OCTC).

المواصفات الفنية لمحول المغير تحتاج بعض المعلومات الإضافية بالمقارنـة بمواصفات محول القدرة. ومصمم النظـام أو المـشتري ينبغـي أن يـوفر هـذه المعلومات. هذه المعلومات مثل: صمام موجات التيار ، طيف توافقيات التيـار ، "محتوى التوافقيات يؤثر على خسائر ومفاقيد المحول فـي العـام ، بـل والأهـم المفقودات الموضعية في الملفات ، وبالتالي درجات الحرارة الساخنة المحتملة " .

عندما تكون هذه المعلومات معروفة ، فإنه يمكن تـصميم الملفـات لتجنـب درجات الحرارة الغير مقبولة. تشويه الجهد في نظام القوى الكهربائية التي تسببها توافقيات التيار هي جانب آخر للنظر. ويمكن الحد من الاضـطراب النـاتج عـن محتوى التوافقيات للتيارات بزيادة عدد النبضات ، كما ذكر أعلاه.

وقد تكون هناك أيضا متطلبات خاصة فيما يتعلق بسماحية المعاوقة الكهربائية للمحول بسبب أن هذه المعاوقة الكهربائية تؤثر على كفاءة عملية التحليل الكهربائي.

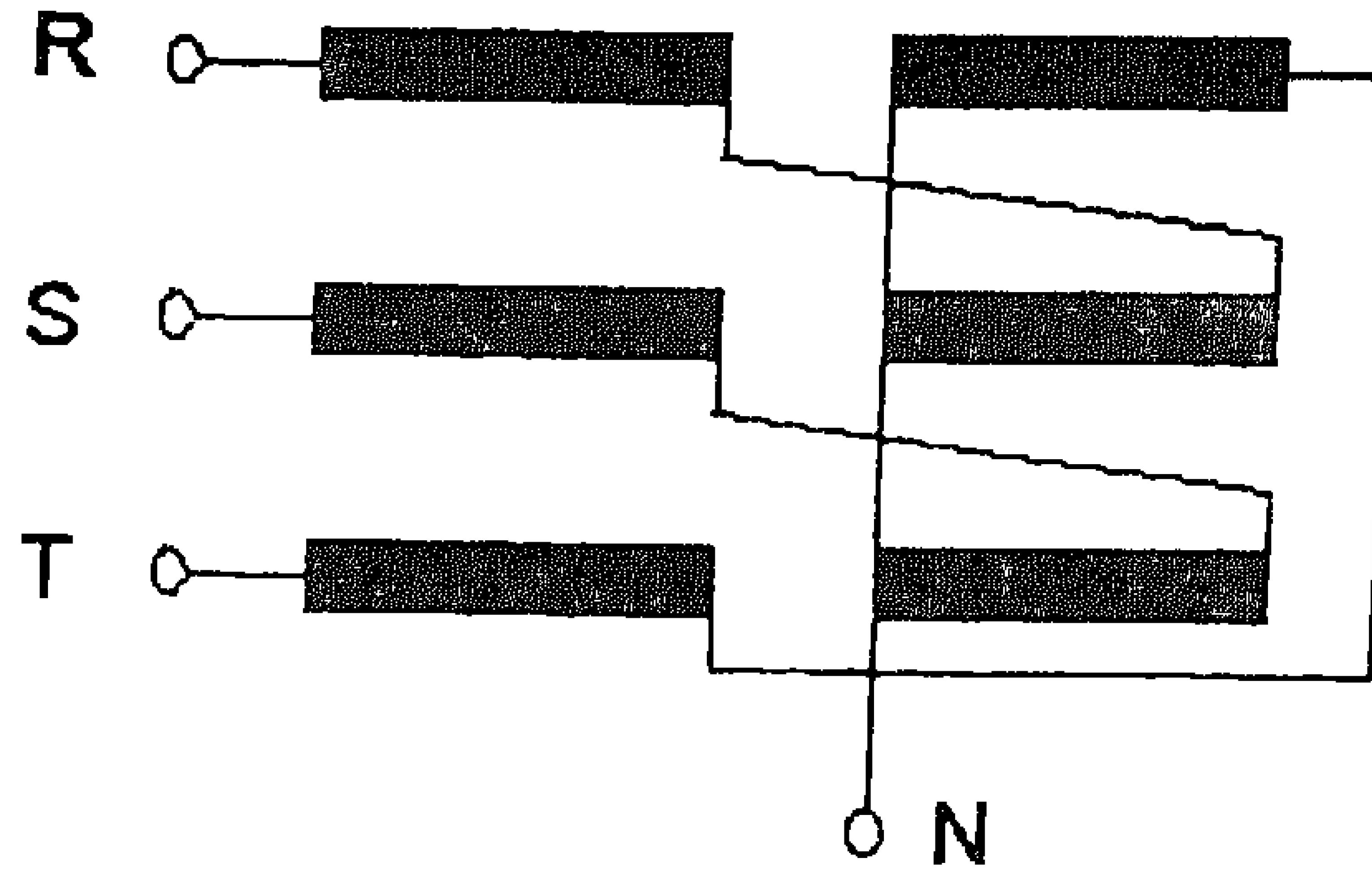
محولات التأريض Earthing Transformers

تستخدم محولات التأريض لخلق نقطة محايدة في النظام الثلاثي الأوجه ، الذي يوفر إمكانية للمحايد الأرضي. وقد يكون التأريض من خلال مفاعل قمع القوس الكهربي ، و مفاعل المحايد الأرضي أو مقاومة تأريض أو التأريض مباشرة.

ويمكن أن يكون التصميم عبارة عن محول ذو ملف واحد فقط ،و الذي يوصل متعرج Zigzag. وعادة تكون معاوقة التسلسل الصفري لهذا الملف منخفضة جدا ، ولكن يمكن زيادتها إذا كان الغرض هو الحد من التيار خلال محول التأريض في حالة حدوث خطأ أرضي في مكان ما من النظام. و الشكل التالي يبين شكل توضيحي لمحول التأريض.

الفصل الحادي عشر

منتجات حماية المعدات



شكل (12-4) توصيلة نجمة Y

ومن الممكن لتوفير محول الأرضي مع الملف الثانوي لأجل استمرار تغذية المحطة المساعدة.

وعادة ما تكون محولات الأرضي مغمورة في الزيت ، ويمكن تركيبها في الهواء الطلق. وفي الحالات التي يستخدم فيها مفاعل منفصل موصل بين محايد المحول والأرض، يمكن إدراج المفاعل والمحول في نفس تنك الزيت.

وعندما يكون محول الأرضي على وشك أن يستخدم مع مفاعل قمع القوس، فيتم تحديد التيار المقنن (ومدته) لمحول الأرضي من قبل بيانات المفاعل. وإذا كان محول الأرضي يستخدم للتأريض مباشرة أو عن طريق مفاعل الحد من التيار، وسوف تكون تيار المحايد خلال المحول عاليا ولكن لمدة محدودة لبضع ثوان. يجب أن يصمم محول الأرضي لتحمل التأثيرات الحرارية والميكانيكية لتيار المحايد المقنن. وينبغي اختيار الخصائص المميزة لمحول الأرضي لتناسب خصائص النظام.

في معظم وقت الخدمة يكون تحميل محولات الأرضي منخفضة للغاية. وتحدث بشكل عشوائي التيارات قصيرة المدة التي تسبب أي تسخين للمحول. تقادم الألياف والمواد السليلوزية بعد ذلك لا يبعث على القلق. وفيما يتعلق بدرجات الحرارة المقبولة، فان هناك جانبان يجب اعتبارهما. درجة الحرارة من خلال

تيارات ذات مدة 10 ثوان، يجب ألا تسبب تنعيم لمادة موصلات الملفات ، فمـثلا 250^{o} للنحاس و 200 درجة مئوية للألومنيوم.

مع التيارات ذات المدة تتراوح من ساعة إلى أكثر ، ينبغي تجنـب درجـات الحرارة المفرطة التي تسبب تولد الغاز في الزيت. درجات الحرارة للعناصر التي في اتصال مباشر مـع الزيـت ينبغـي أن لا تتجـاوز 140 درجـة مئويـة . مرحلات حماية خطأ التسرب الأرضي للنظام قد لا تكون فعالـة فـي التيـارات المنخفضة. و لمنع الأضرار التي تلحق بمحول الأرضي والناتجة عن هذا التيـار، يوصى باستخدام مقياس الحرارة الزيت مع ملامسات إنذار/ فصل. وكبديل لـذلك، يجب تحديد الحد الأقصى للقيمة المستمرة لتيـار التـسرب الأرضـي واسـتخدام الحماية الحساسة المنصوص عليها.

بالنسبة لمحولات التأريض التي تحمل تيار تحميـل مـستمر بـسبب الملـف الثانوي الذي يغذي إمدادات للمستهلكين المحليين ، فان حدود درجة الحرارة فـي المواصفات القياسية IEC 60076-2 (1993-04) لمحولات الكهرباء في البـاب 2 ؛ ارتفاع درجة الحرارة.

محولات الأفران Furnace Transformer

تستخدم المحولات من هذا النوع في انصهار الصلب و الصناعات المعدنية.

هي تتميز بأنها عالية التيار الثانوي ، وهي للصلب تصل إلى 90 كيلو أمبير و للسبيكة الحديدية تصل إلى 160 كيلو أمبير تيار الالكترود (القطب) ، و الجهد الثانوي واسعة النطاق. عادة ما ينظم الجهد الثانوي على حمـل بواسـطة مغيـر الخطوة (OLTC) الواقعة في الملف عالي الجهد أو في دائرة وسيطة من تـصميم ثنائي القلب الأساسي (تنظيم التعزيز) داخل تلك المحول. قد يصل الجهد الثـانوي في محولات الأفران إلى 1500 فولت. يمكن تقسيم الأفران إلى فئتين :

- أفران التيار المتردد
- أفران القوس

- أفران الحد
- الأفران لأغراض خاصة
- أفران التيار المستمر

محولات فرن القوس تستخدم لإذابة المعادن الخردة. عادة توجد مع فرن القوس ، ثمة فرن المغرفة تستخدم في عملية صقل المعادن المذابة بواسطة فرن القوس. وعادة تصمم محولات فرن القوس كثلاث وحدات.

محولات فرن التقليل Reduction furnace transformers تستخدم بصفة رئيسية في الصناعات المعدنية. ويعتبر إنتاج ferroalloys من التطبيقات الهامة. والسبائك الرئيسية هي سبائك الحديد والسليكون ، معدن السيليكون وسبائك الحديد والمنجنيز. ومن السبائك الهامة أيضا سبائك الحديد والنيكل وسبائك الحديد و الكروم. وأفران التقليل Reduction furnaces تستخدم أيضا في إنتاج المعادن غير الحديدية مثل النحاس والنيكل والقصدير والرصاص والزنك .

وأفران التقليل تستخدم أيضا في إنتاج كربيد الكالسيوم. والتصميم الأكثر شيوعا لمحولات الفرن الخافض هو أحادي الوجه.

ومن الأمثلة على محولات الأفران لأغراض خاصة يمكن لإنتاج مادة الإليكترود وتكرير الخبث الكهربائي ، حيث هذا الأخير هو إنتاج نوعية عالية جدا من الصلب.

محولات أفران التيار المتردد يمكن أن تصنع أحادية الوجه كما تصنع من ثلاث أوجه. في كثير من المنشآت في جميع أنحاء العالم ، فرن محولات وقد تصمم من نوع shell type. جميع المحولات الأخرى لهذا الغرض على النحو من النوع القلبي core type. تصنيع من محول أفران التيار المتردد الجديدة تتم حسب نوع القلب المغناطيسي مع وجود استثناءات قليلة.

محولات فرن التيار المستمر تستخدم أيضا لإذابة المعادن الخردة (الصلب). نظام الثلاث أوجه هو الأكثر شيوعا في تصميم. وحيث أن التيار المستمر هو المستخدم لعملية الذوبان فانه يتم تركيب المحول مع المعدل الذي يغذي الفرن.

الجودة العالية للمحولات الموثوق فيها توفر قدرة على تحمل قصر الدوائر، التوافقيات ، فضلا عن سرعة تقلبات الحمل. أفران القوس الكهربائي وكذلك عمليات التحليل الكهربائي تضع إجهاد على المحولات. لذلك تبرز أهمية اختبارات مراقبة الجودة وضمان سلامة التشغيل .

محولات الفرن والمعدل تشمل :

- معدلات الدايود والثايرستور للمحولات مع أو بدون مغير خطوة OLTC
- محولات فرن القوس الكهربي مع أو بدون OLTC
- محولات فرن القوس الكهربي ذات التيار المستمر

المعايير و المواصفات القياسية

وفيما يلي المعايير التي تحكم الفرن والمعدل والمحولات وتطبيقاتها الميدانية:

اختبار

برامج الاختبار واسعة النطاق والنوع الثقيل تتم لأداء كل تصميم من المحولات لتحقيق المتطلبات الخاصة للعملاء. الاختبار الميداني لديها إمدادات طاقة حوالي 150 ميجا فولت أمبير. ومن الممكن أيضا ترتيب والجمع بين أنظمة الاختبارات.

اللجنة الكهربائية التقنية الدولية IEC

IEC 60076 series
IEC 61378-1
IEC 60146
IEC 60214

معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE

IEEE C57.12.00
IEEE C57.12.90
IEEE C57.18

محولات المعدلات Rectifier transformers

محولات المعدلات مجتمعة مع المعدل المكون من الثنـائي أو الثايرسـتور. وتتراوح التطبيقات بين التحليل الكهربائي الألومنيوم ومختلف المشاريع الصغيرة والمتوسطة الحجم .

قد يكون للمحولات وحدة تنظيم الجهد ذاتية او وحدة منفصلة والتي تستخدم للتنظيم المباشر لخرج معدل الدايود (الثنائي) ، وبالمقابل تحسين عامـل القـدرة باستخدام معدل الثايرستور.

المتطلبات

وتستخدم عمليات التحليل الكهربائي في إنتاج المعـادن ، مثـل الألومنيـوم والمغنيسيوم ، والنحاس والزنك ، أو المواد الكيميائية ، وبصفة رئيسية الكلـور. أكبر المنشآت هي تلك التي للالومنيوم مع عدة محـولات كهربائيـة / وحـدات معدلات تيار توصل على التوازي لتحقيق التيار المستمر المطلوب. وفي جميـع الحالات فإن المعدل يمكن ان يكون من الثنائيات(الدايود) أو الثايرستور.

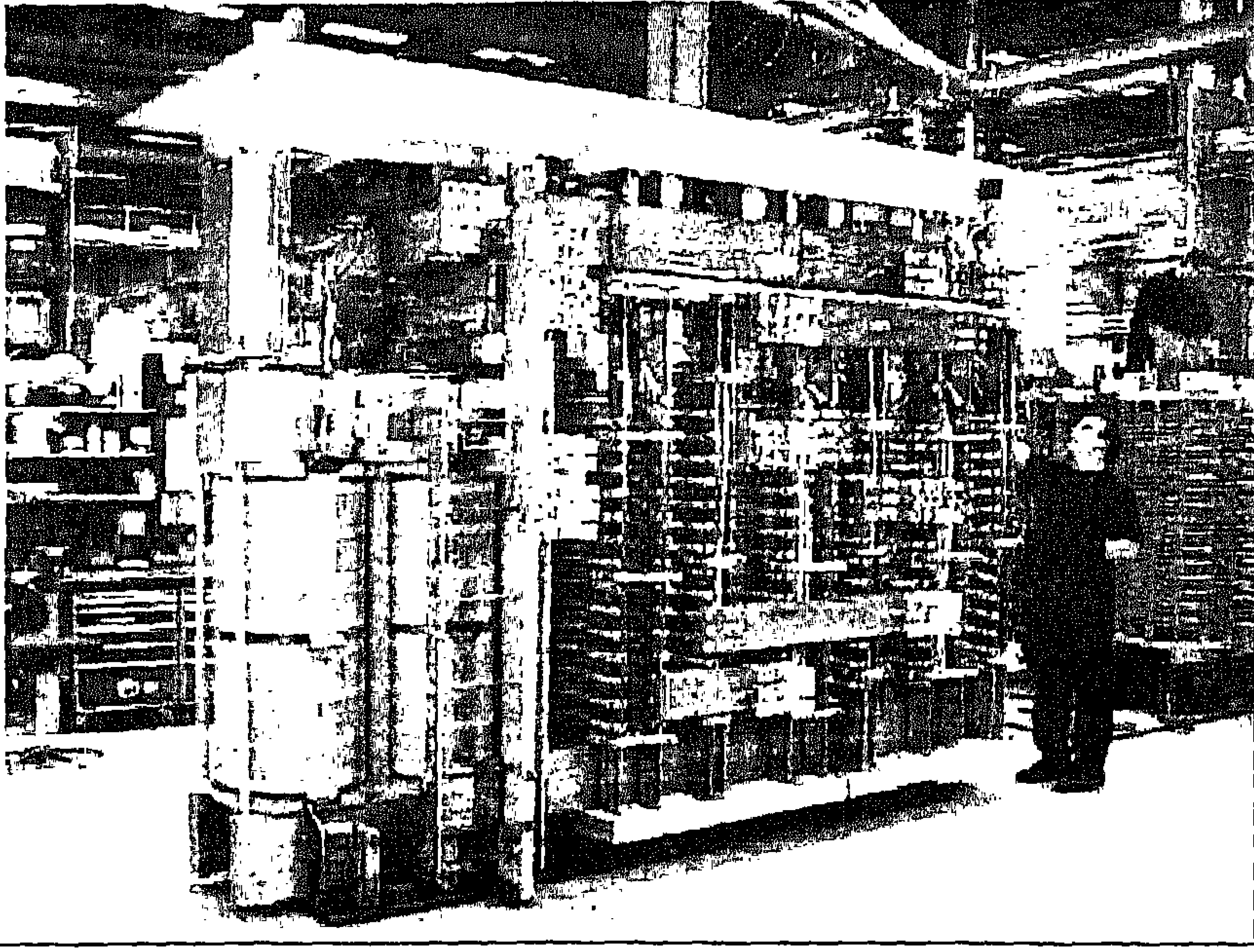
الوظيفة

التحليل الكهربائي تعتبر عموما عملية مستمرة ومستقرة ، ولكن مع ارتفـاع مستمرّ في التحميل وفي توافقيات التيار .

تصميم محولات المعدلات

ونظرا لمجموعة كبيرة من التطبيقات ، وهناك عدة عوامل مؤثرة يجب اعتبارهـا فيما يلي :

- التوصيل و مستوى التيار المستمر:من المتوسطة إلى عالية الجهد.
- التوصيل في اتجاه واحد interphase : تيار مستمر الجهـد المـنخفض إلـى جانب التيارات المستمر لمستويات عالية.
- معدل الثايرستور أو الدايود.
- مدى الجهد وخطوة الجهد.
- ازدواج المستوى : الجهد عالي والجهـد المـنخفض اللفـات فـي مـستويين ، والتوصيل واي ودلتا لتحقيق رد فعل 12 - نبضة.
- عدد النبضات أعلى من 12 : يتطلب المزيد من الملفات لمرحلة التحـول فـي الطور.
- ترتيبات الجهد المنخفض : التقليل إلى أدنى حد من النقاط الساخنة في الملـف وتأثير التوافقيات.
- ترتيب بطانة الجهد المنخفض LV bushing : تكييف تصميم المعدل للحد مـن التدفئة الهيكلية. وعادة ما تركب البطانات على جانب جدار الخزان.



An active part of the rectifiers transformer with the Inter Phase Transformer.

شكل (12-5) الجزء النشط من محول المعدّل مع محول داخل الوجه .

تنظيم الجهد Voltage regulation

المعدلات باستخدام الثايرستور تتطلب عادة تنظيم جهد المحول مع مغير خطوة بدون تحميل NLTC ، إن وجدت. لتنظيم الجهد بمعدلات صغيرة فإن NLTC يمكن أن توضع في الملفات ناحية الجهد العالي. بالمقارنة ، المعدلات باستخدام الدايود لها معدل كبير و عدد كبير من خطوات الجهد الصغيرة في المحول. مغير الخطوة المتعدد يجمع بين النوعين (OLTC) أو NLTC / OLTC والجمع هو المفضل ، جنبا إلى جنب مفاعلات التشبع ناحية الجهد المنخفض تستخدم في الضبط الدقيق للجهد.

اللف المزدوج أو لمحول التنظيم تلقائي التوصيل يمكن أن توضع في خزان واحد ، كما في محول المعدلات ، أو في خزان منفصل.

محولات فرن القوس الكهربائي AC Arc Furnace Transformers

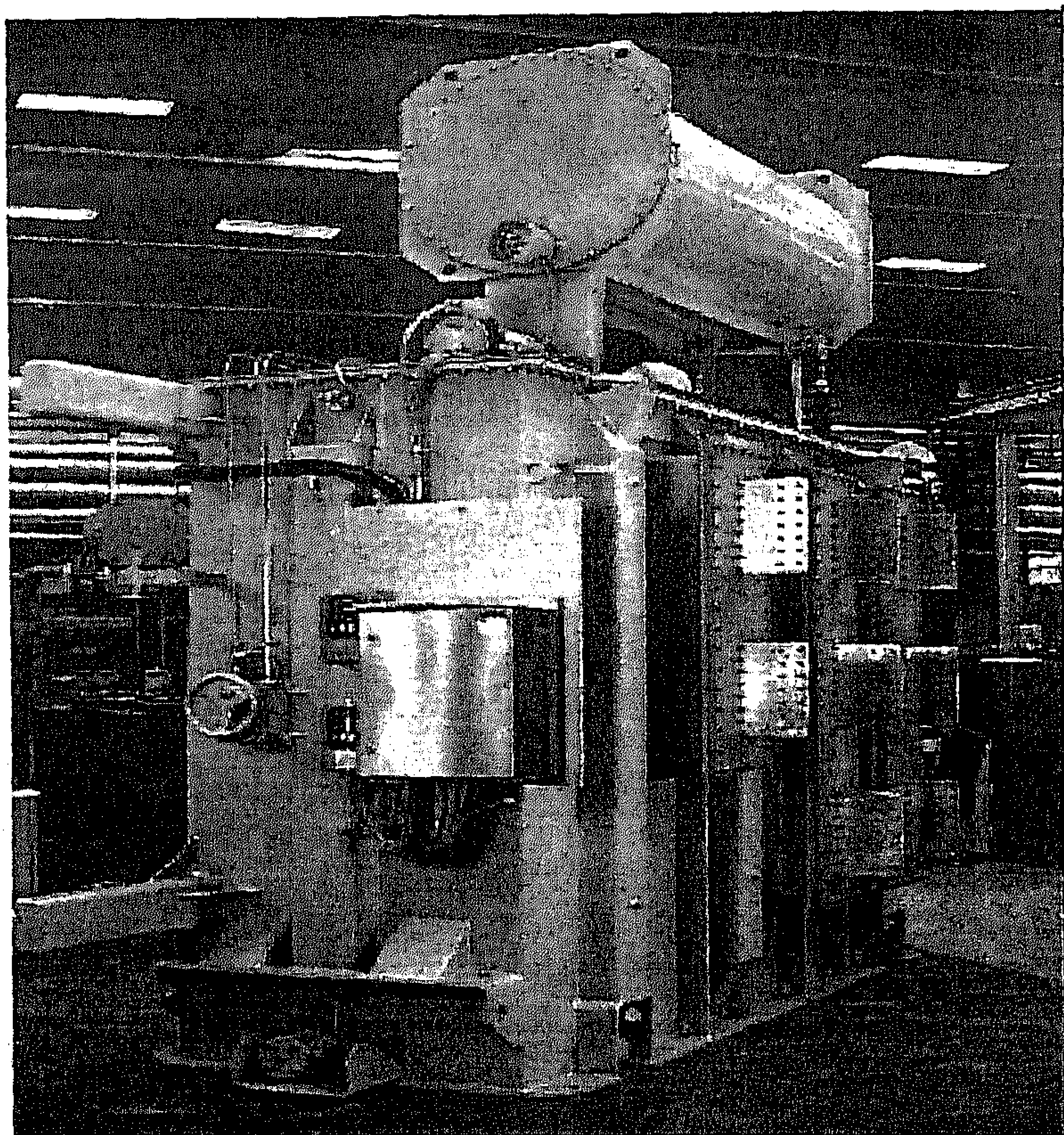
محولات الفرن لعمليات القوس الطويل (الصلب) والقوس القصير (سبائك الحديد).

وهناك محولات لجميع تطبيقات الأفران. و التصميم القوي يضمن القوة الميكانيكية لتشغيل فرن الصلب وضبط درجة الحرارة للارتفاع المستمر فـــي الأحمـــال فـــي عمليات السبائك الحديدية.

قوس الأفران وتستخدم في صناعة الصلب لصهر خردة الحديد و لتكرير الصلب.

وغيرها من المجالات هي :

- صهر الزجاج والسيراميك
- تصنيع وتكرير مواد أخرى كثيرة ، علـــى ســـبيل المثـــال الحديـــد-كـــروم ferrochromium ، المنجنيزية ferromanganese ، كاشـــط مختلـــف المـــواد (أكاسيد و نترات nitrides) ، و مواد شبه موصلة ، والمساحيق الصغيرة جـــدا nanopowders .... الخ.



An AC furnace transformer with side-mounted secondary bushings.

شكل (12–6) محول فرن تيار متردد مع بطانات الثانوي محمولة على الجانب.

الأفران التي تستخدم القوس الكهربائي إما أن يكون فرن قوس تيار مستمر أو تيار متردد. وهذه المحولات تكون قدرة في حدود 20... 200 ميجا فولت أمبير. غالبا ما تكون هناك حاجة للمفاعلات التي تقوم بتنعيم التقلبات في التيار والجهد ، سواء في نفس الخزان أو في وحدة منفصلة.

أفران المغرفة (LF) عادة تكون أفران من 3... 40 ميجا وات.

وهذا التطبيق هو أقل تطلبا للمحول من الصهر، وذلك لأن القوس بالأحرى مستقر. وقد يحدث القوس بين الأقطاب الكهربائية والصلب المنصهر.

تطبيقات محولات أفران القوس الكهربائي

محولات أفران القوس الكهربائي و اللازمة للعديـــد مـــن عمليـــات الأفـــران والتطبيقات. إنها مبنية للاتي:

- أفران الصلب ، أساسا القوس الطويل
- أفران المغرفة
- أفران سبائك الحديد والسبائك المماثلة قصيرة أو مغمورة القوس
- صهر المواد الأخرى

الواجب أو الوظيفة

محولات فرن قوس الفولاذ تعمل تحت ظروف قاسية جدا فيما يتعلق بزيـــادة التيار المتكررة وزيادة الجهد overcurrents ، overvoltages والناتجـــة عـــن قصر الدوائر في الفرن وتشغيل قاطع الدائرة على جهد عالي . ويكـــون التحميـــل دوريا، في حين أنه في تطبيقات أخرى يكون التحميل أكثر استمرارا فـــي حالـــة الاستخدام الكثير.

تصميم محولات أفران القوس الكهربائي

تصميم المحولات يهدف إلى الصمود أمام القصر المتكرر للدائرة و ظـــروف حرارية عالية.

كما أنها محمية ضد زيادة الجهد overvoltages المتكررة بـــسبب الفـــصل والتوصيل.

خيارات التصميم :

- التنظيم المباشر أو غير المباشر .
- تبديل أو تغيير الخطوة على حمل أو بدون حمل (OLTC أو NLTC)
- المفاعل المدمج Built-in reactor لاستقرار القوس المستمر لفترة طويلة

- ترتيبـــات البطانـــة الثانويـــة والتـــصميمات Secondary bushing arrangements، وتبريد الهواء أو الماء .
- إغلاق الوجه الثانوي الداخلي (دلتا الداخلية internal delta) .
- نظام الحماية عالية الجهد RC-SA .

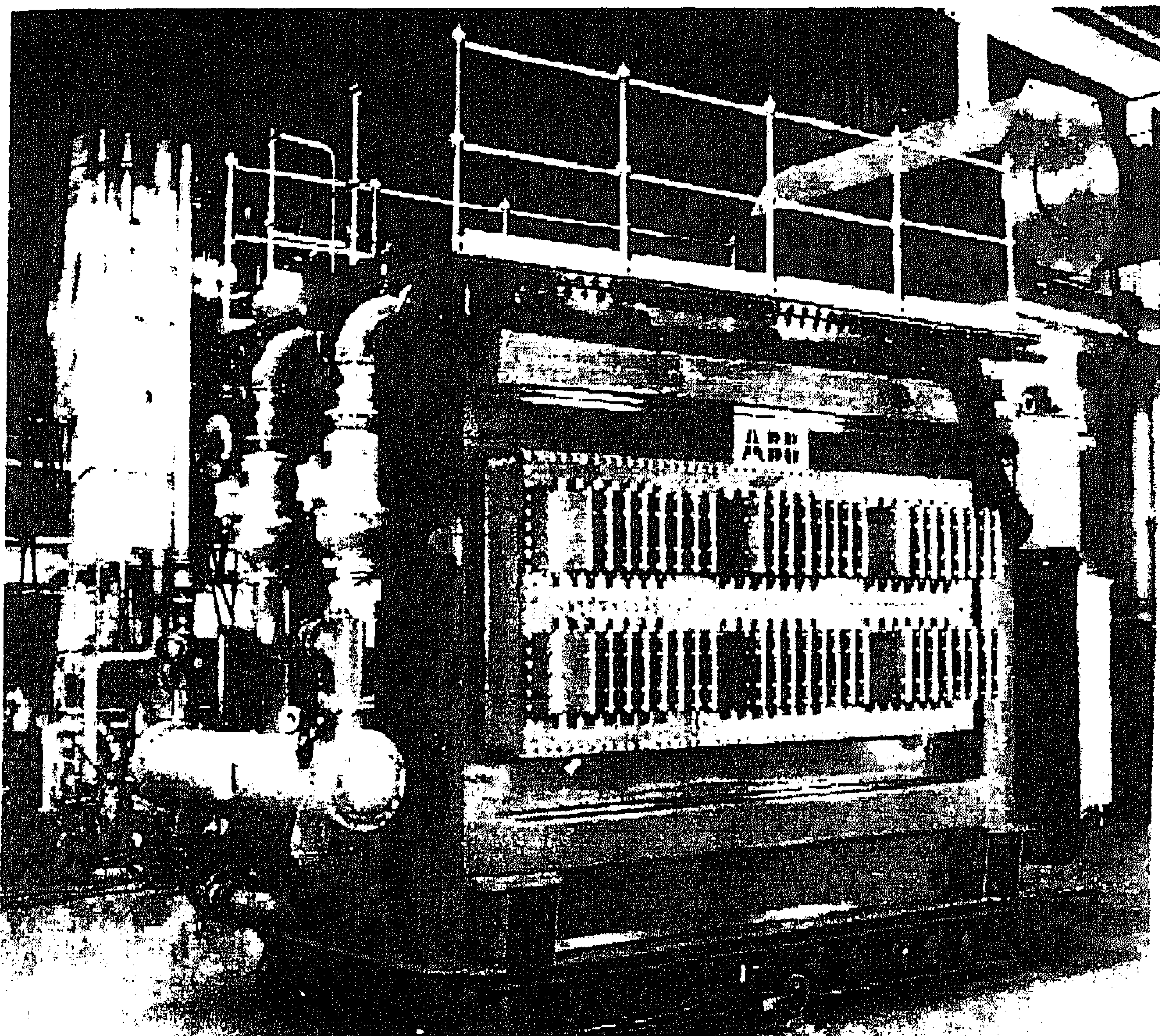
محولات فرن القوس ذات التيار المستمر DC Arc Furnace Transformers

أفران القوس الكهربي التي تعمل بالتيار المستمر تـستخدم بـصفة رئيـسية لإنتاج الصلب.

المحولات المستخدمة لتشغيل فرن التيار المستمر تقدم عادة فـي مجموعـة تحتوي محول / معدل rectifiers. وعادة ما تكون أفران التيار المـستمر واحـدة من أكبر أفران القوس الكهربائي.

الوظيفة

لكونه محول معدل (موحد تيار) لتشغيل فرن ، فرن تيار مستمر فان المحول يجب أن يصمد أمام خصائص تشغيل الفرن ، فضلا عن الضغوط الإضـافية ذات الصلة بتشغيل الموحد ، بما فيها توليد تيار التوافقيات . أيـضا ، جانـب الجهـد العالي يحتاج إلى حماية من زيادة الجهد الناتجة عن القطع overvoltages والتي تكون متكررة.



A DC arc furnace transformer of 36 MVA with the secondary current of 97 kA.

شكل (12-7) محول فرن قوس تيار مستمر 36 ميجا فولت أمبير مع التيار الثانوي 97 كيلو أمبير.

التطبيقات

معظم أفران القوس (تيار مستمر) الكبيرة تبنى لإنتــاج الــصلب. اســتخدام معدل (موحد) الثايرستور للتحويل إلى تيار مستمر عادة ما يقلل مــن متطلبــات تنظيم الجهد على الحمل لمحول الفرن. وخطوة الجهد أكبر منها في حالة محــول فرن التيار المتردد، ومغير الخطوة بدون حمل (NLTC) يكون كافيا في العديــد من التطبيقات.

تصميم محولات فرن القوس ذات التيار المستمر

محولات فرن التيار المستمر تبنى معظمها مع اثنين من ملفات الجهد المنخفض ، عادة واحدة توصل دلتا والأخرى توصل واي (نجمة) ، ولكل منها ملف جهد عال منفصل. في تصميم هذه الطبقة المزدوجة يوصل المحول بمعدلين كل منهما ستة نبضات، تضاف إلى بعضها لتصل إلى نظام 12 نبضة أو نظامين 6 – نبضة متوازيين . تنظيم الجهد المنخفض للمحول عادة ما يتم ذلك باستخدام مغير خطوة بجون حمل NLTC في ملف الابتدائي. موقع المعدلات 6 – نبضة يمكن أن يكون على نفس الجانب من المحول ، أو على الطرف النقيض ، على النحو المطلوب في تصميم المصنع أو المحطة.

المحولات الخاصة Special Transformers

محولات السكك الحديدية Railway Transformers

المحولات المدمجة وانخفاض الوزن تمتثل امتثالا تاما لمواصفات العملاء.

ويتم تطوير المنتجات جنبا إلى جنب مع احتياجات العملاء ، واحتياجات السكك الحديدية والحمولة الزائدة وفقا لمتطلبات EN50239 دائما يتم استيفائها.

تصنيفات القدرة حتى 63 ميجا فولت أمبير والجهد يصل إلى 170 كيلو فولت. الجودة العالية للمنتجات الموثوق بها توفر قدرة بارزة على تحمل قصر الدوائر ، وهو أمر شائع في السكك الحديدية الكهربائية. نوع خاص من اختبارات مراقبة الجودة وضمان سلامة التشغيل . وتستخدم سوائل عازلة خاصة (مثل Midel ®) يمكن استخدامها لتحسين سلامة البيئة والحد من خطر الحريق. محولات السكك الحديدية أيضا تكون محمية ضد التخريب. نظم السكك الحديدية والمعدات المستخدمة في العالم غالبا ما تكون ملزمة بالاحتياجات المحلية والوطنية و ممارسات البناء. ولذلك ، فإن العناصر يجب أن تصمم خصيصا وتختبر نوعيا لكل سكك حديدية لإيجاد الحل الأمثل لكل نوع.

- المحول الذاتي
- المحولات التدعيم (التقوية)
- محولات الجر المغذية بالتيار المتردد
- محولات الجر المغذية بالتيار المستمر
- محولات الجر ساكنة المغير الاستاتيكي
- المحولات المساعدة
- محولات العزل

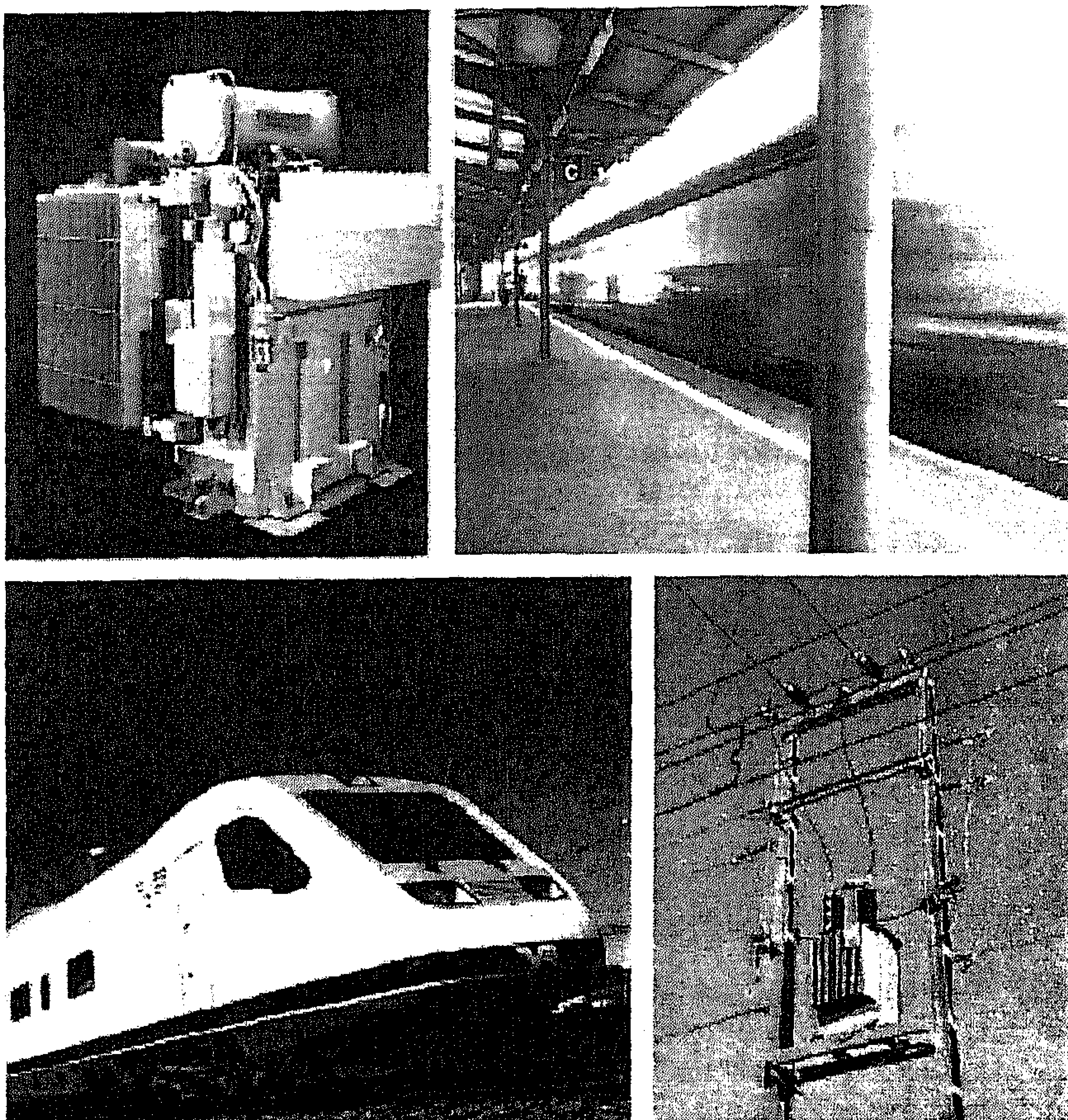
المعايير القياسية لمحولات السكك الحديدية

وفيما يلي المعايير التي تحكم السكك الحديدية والمحولات وتطبيقاتها الميدانية :

- اللجنة الكهربائية التقنيــة الدوليــة IEC-60076 ، المواصــفات القياســية للمحول.
- EN 50329 ، مواصفات الاتحاد الأوروبي لتركيب محولات السكك الحديدية .
- EN 50121-5 ، مواصفات الاتحاد الأوروبي القياسية (التوافــق الكهربــائي المغنطيسي) لتطبيقات السكك الحديدية .
- EN 50122-1 ،مواصفات الاتحاد الاوربي لأنظمة سلامة الأرضي القياســية لتطبيقات السكك الحديدية.
- EN 50124-1 ، تنسيق العزل لتطبيقات السكك الحديدية

اختبار

وقد تم عمل اختبارات واسعة النطاق وبرامج النوع الثقيل لأداء كل تصميم مــن المحولات لتحقيق المتطلبات الخاصة لشركات السكك الحديدية.



شكل (12-8) تطبيقات المحول الذاتي السلسال (المعلق)

المحول الذاتي السلسال (منحني السلسلة)Catenary Autotransformers

تطبيقات المحول الذاتي السلسال (المعلق)

الطاقة الكهربائية للسكك الحديدية تزود جهد مرتفع لمحطات فرعية مغذية سلسال ، حيث يخفض الجهد لمستوى مناسب لتغذية سلاسل الموصلات في السكك الحديدية لاستخدامها من جانب القاطرات والقطارات.

المحول الذاتي للسلسلة تستخدم في نظم تغذية عالية الطاقة للسكك الحديدية الحديثة مع على وجهين بينهما حيود في الطور 180 درجة ، مع نقطة الوسط موصلة إلى الأرض. وهي تطبق على جميع نظم القطارات الجديدة فائقة السرعة.

الغرض

في السكك الحديدية ، يؤخذ التيار الكهربائي من موصل معلق إلى القاطرة ؛ حيث تستخدم الطاقة من جانب المحركات الكهربائية وتوصل القضبان بالأرضي ، التي هي جزء من دائرة العودة. في نظام الوجهين للتغذية السلسلة ، وتوصل القضبان وموصل العودة الأرضي إلى نقطة المنتصف من المحول الذاتي المعلق.

يوصل قطب واحد من المحول الذاتي إلى وجه السلـــسلة (الكاتينـــة) ، ويوصـــل القطب الآخر إلى موصل الوجه السالب. مع هذا التوصيل ، فإن القـــدرة تغـــذى إلى القاطرة بضعف الجهد مقارنة بجهد القاطرة نفسها. وهذا يعني أن تيار الوجـــه الواحد ينخفض إلى النصف وخسائر الطاقة تقل إلى الربع بالمقارنة بالمغذي نظـــام وجه واحد. إن مهمة المحول الذاتي على طول خط منحنى السلسلة هـــي تحقيـــق التوازن بين جهد السلسلة والأرضي، و موصل الوجه السالب والأرضي ، وبعـــد ذلك توزع تيار العودة بالتساوي بين الوجهين.

المزايا التي يتم الحصول عليها مع هذا التوصيل مقارنة مع تغذية الوجه الواحـــد و محولات التقوية ، ويتوقف ذلك على أهداف هي التالية :

- ❑ انخفاض الخسائر بسبب ارتفاع الجهد
- ❑ مسافة أطول بين المحطات الفرعية المغذية للسلسلة
- ❑ تحصيل أفضل لتيارات العودة الشاردة
- ❑ انخفاض التداخل مع أنظمة الاتصالات

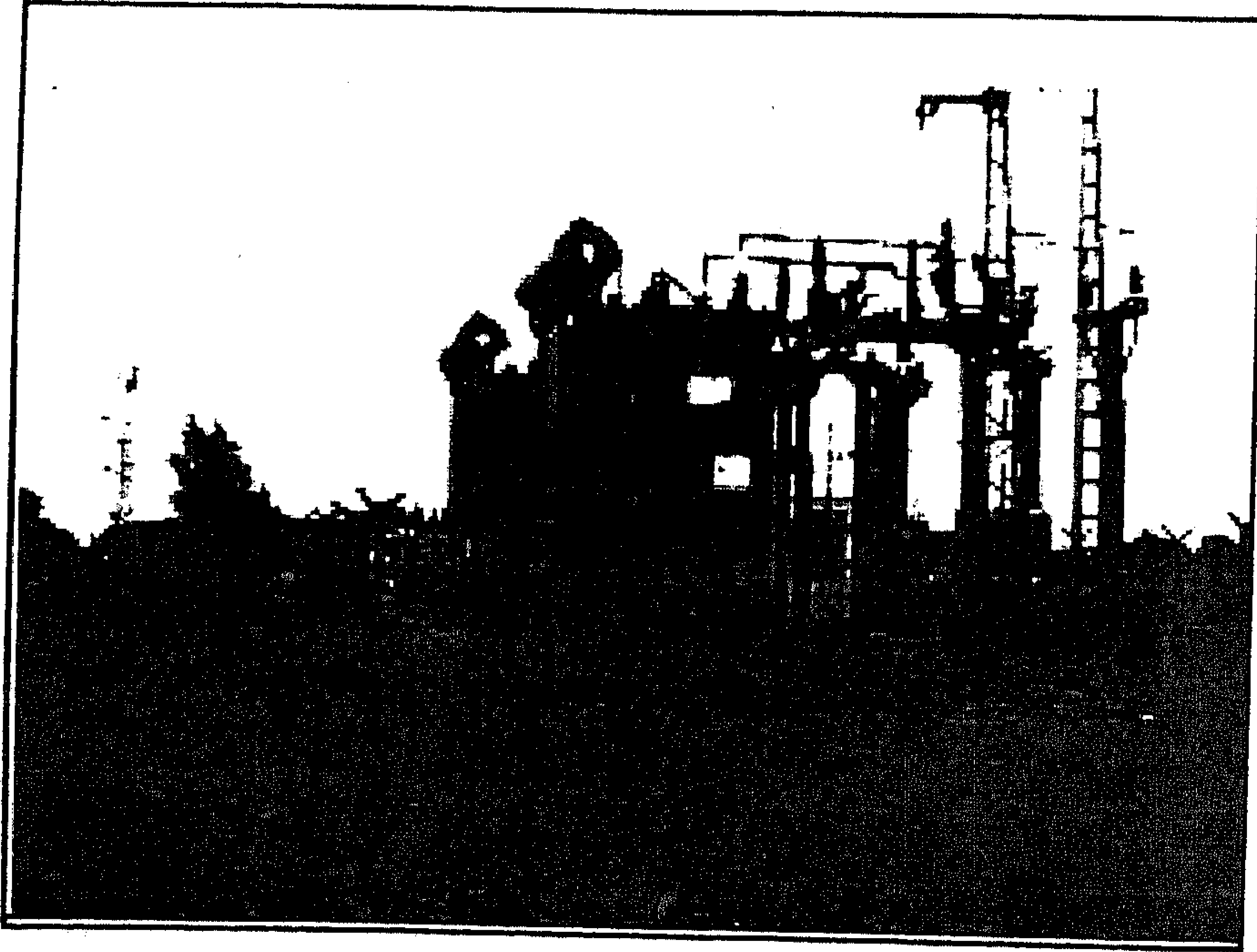
الوصف

المحول الذاتي المعلق يكون أساسا وجه واحد متصل ذاتيا. يوصـــل الملـــف الابتدائي بين الوجهين ويوصل الملف الثانوي بين وجه الكاتينة وموصل العـــودة

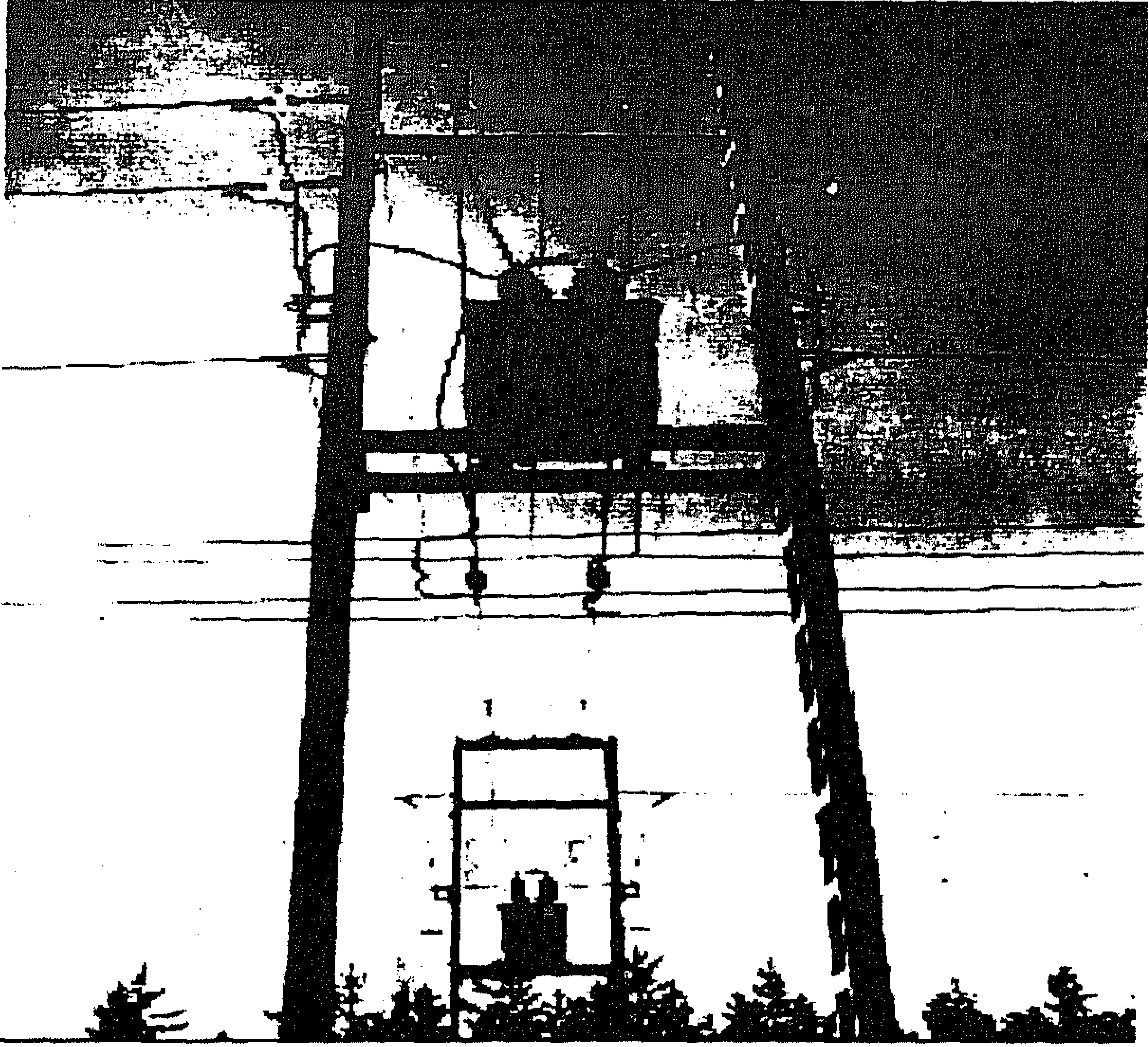
الأرضي. الجهد الثانوي هو الجهد بين السلسلة و الأرضي ، والجهد الابتدائي ضعف ذلك.

متطلبات المحولات الكهربائية المستخدمة في السكك الحديدية خاصة ومطلوبة. و المعاوقة الكهربائية للمحول الذاتي منخفضة للغاية ؛ يجب أن تتحمل المحولات الحمولة الزائدة المؤقتة العالية جدا و تكون مقاومة لعدد كبير من قصر الدوائر.

الترددات في التغذية الكهربائية للسكك الحديدية هي 16،67 هرتز ، 25 هرتز ، 50 هرتز أو 60 هرتز ، والقدرة المقننة ما بين 4-15 ميجا فولت أمبير. ومحول الكاتينة يوضع داخل كشك متكامل مع بالوعة الزيت . وخزان المحول إما مغلقة بإحكام ، المموج ومرن ، أو أنواع مقاومة فراغ مع الأجهزة المشعة قابلة الفصل ومستودعات الزيت .



شكل (12-9) محول ذاتي سلسال(8MVA) جاهز للخدمة في الموقع.



Pole-mounted booster transformers in service at the railway network in Finland.

شكل (12-10) محولات التقوية محمولة على القطب في الخدمة في شبكة السكك الحديدية في فنلندا.

محولات التقوية (التعزيز) Booster transformers

التطبيقات

محولات التعزيز الكهربائية المستخدمة في مغذيات كتائن السكك الحديدية ذات التيار المتردد AC لجمع تيار عودة من القضبان والأرضي لموصل العودة.

الغرض

في السكك الحديدية ، يؤخذ التيار الكهربائي من موصل الكاتينة إلى القاطرة ، حيث تستخدم الطاقة من جانب المحركات الكهربائية ، وتوصل القضبان بالأرضي

، التي هي جزء من دائرة العودة . من القضبان ، ولكن ، تيار العودة قد يخرج على نحو ضار أو غير مقصود لأماكن مثل خطوط أنابيب معدنية ، والجسور ، والاتصالات والبرقيات . و التيارات الشاردة تسبب التداخل في نظم الاتصالات وغيرها من الأجهزة الإلكترونية بسبب مرور القطارات. تستخدم محولات التعزيز لإزالة التيارات الشاردة والاضطرابات ، يلزم تيار العودة إلى التدفق في موصل العودة.

استخدام محولات التعزيز يتزايد بسبب الأنظمة الجديدة للتداخل الالكترومغناطيسي والكمية المتزايدة من الأجهزة الالكترونية الحساسة. كما أن محولات التعزيز كثيرا ما تستخدم لتحسين تغذية نظم السكك الحديدية القديمة.

الوصف

محولات التعزيز تكون وجه واحد مع نسبة تحويل 1:1. و لها قيم المعاوقة الكهربائية منخفضة ، ولكن على الرغم من ذلك ، يجب أن تتسامح مع تيارات قصر الدائرة.

الجهد الأبتدائي عادة ما يكون 15 كيلو فولت أو 25 كيلو فولت ، التي هي المعتادة الاسمية للجهد المتردد AC لمغذيات السكك الحديدية في جميع أنحاء العالم كله. التيار الاسمي (المقنن) عادة ما بين 800- 200 كيلو أمبير و الترددات الكهربائية في السكك الحديدية هي 16,67 هرتز ، 25 هرتز ، 50 هرتز أو 60 هرتز ، و معدلات القدرة للمحولات 100-800 كيلو فولت أمبير. خزان المحول يكون مغلق بإحكام ، ومرن ومموج ، ويسمح بتغير حجم السائل على الرغم من أن يكون مملوء تماما. وعادة ما يكون خزان المحول مجلفن لحمايته من التآكل. يصمم محول التعزيز مغمور في السائل للتركيب في الهواء الطلق.

النمط المعتاد هو تركيب المحول معلقا على عمود من الصلب والـذي يـدعم أيضا الكاتينة وموصلات العودة. و يمكن وضع محولات التقوية في كشك متضمنا بالوعة الزيت . التثبيت على عامود و التثبيت على الأرض أيضا ممكنا.

محولات التيار المتردد المغذية للجر الكهربائي

AC Traction Feeder Transformers

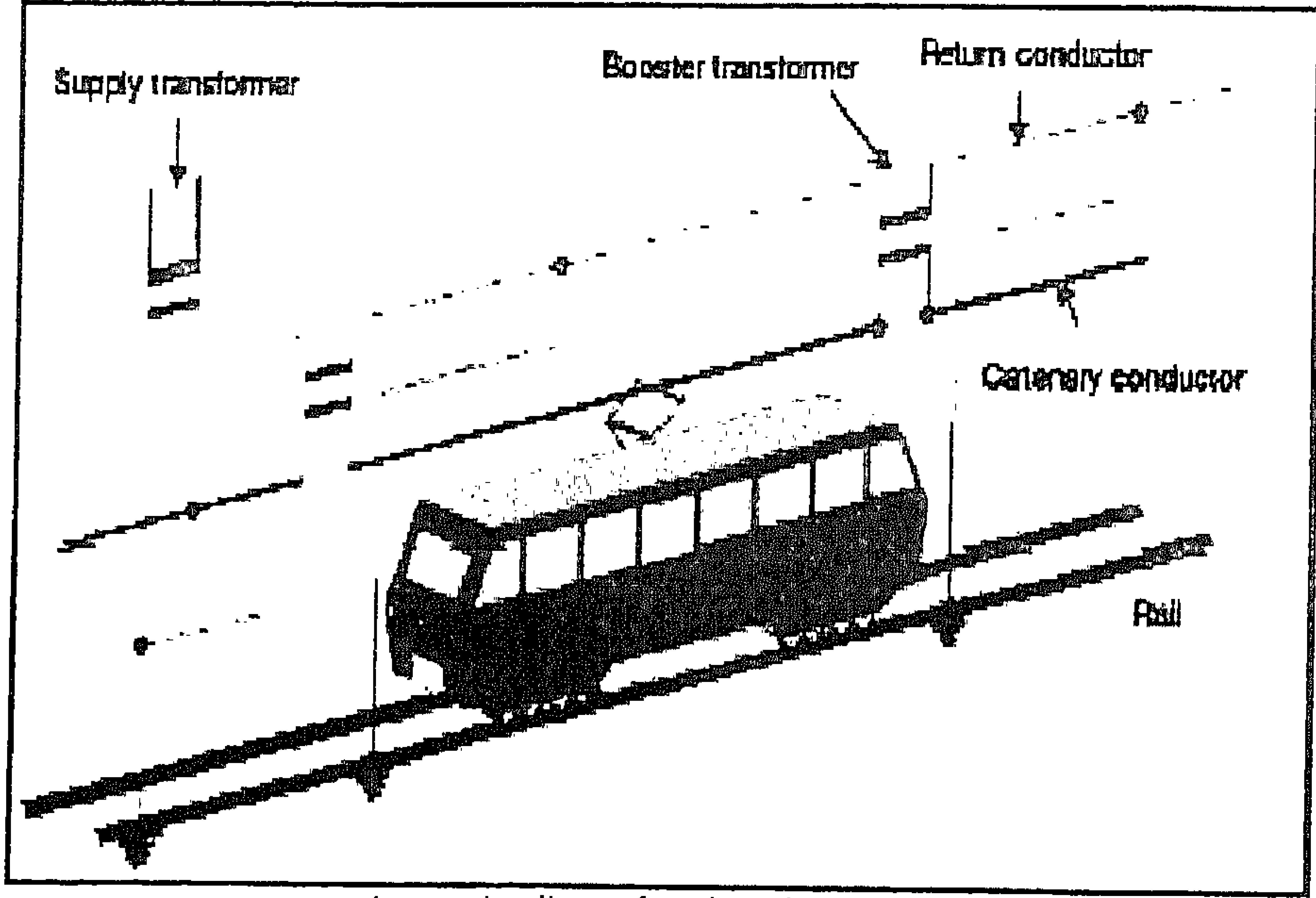
التطبيق

محولات التيار المتردد AC المغذية الجر تستخدم في شبكات الثلاث أوجـه العادية AC و وفي نظام الوجه الواحد لتغذية نظم الكتائن. نظـم الجهـد الواحـد وضعف الجهد تستخدم في التطبيقات المحول الذاتي ومحولات التقويـة. وتمتلـك شركات السكك الحديدية خطوط الجهد العالي نظام وجه واحد الخاص بها. كمـا تستخدم المحولات المغذية وجه واحد لخفض الفولتيـة إلـى مستوى السلسلة (الكاتينة).

الوصف

محولات التيار المتردد AC المغذية الجر غالبا ما تكـون مجهـزة بمغيـر الخطوة على حمل (OLTC). الهيكل القوي يكون مـصمما خصيـصا لمقاومـة قصرة الدوائر المتكرر خلال التشغيل ، والتي تحدث عادة فـي كهربـاء الـسكك الحديدية.

مقننات قدرة محولات التيار المتردد AC المغذية الجر عادة ما تكون 7.5-25 ميجا فولت أمبير (تصل إلى 60 ميجا فولت أمبيـر فـي وسـط أوروبـا) . والجهد العالي يصل إلى 400 كيلو فولت.



A connection diagram for railway electrification.

شكل (12-11) شكل توضيحي لكهرباء السكك الحديدية.

محولات المغيرات الاستاتيكية للقدرة

النظم الموردة من نظام الثلاثة أوجه (فـــاز) التجاريـــة هرتـــز 16,67 و 25 هرتز(تيار مترددAC) عن طريق مغيرات القدرة الثابتـــة stationary converters من 16,67/50 أو 25/60 هرتز. على جانب الشبكة ، هـــذه المغيـــرات دائمـــا تتضمن المحول ثلاثي الأوجه ومحول وجه واحد خاص النـــاتج علـــى الجانـــب محول الكاتينة. هذه المحولات هي مـــصممة خصيـــصا لتكنولوجيـــا المغيـــرات الالكترونية وعموما تتبع المبادئ الموضحة فـــي المقـــاييس الخاصـــة بمحـــولات مغيرات السرعة.

المحولات المغذية للجر تيار مستمر

DC Traction Feeder Transformers

تطبيق

محولات التيار المستمر المغذية للجر تستخدم لتغذية المعدلات الالكترونية من الشبكات ثلاثية الأوجه العادية. والمعدلات تغذي التيار المستمر لسلسلة (كاتينـــة) السكك الحديدية.

الوصف

بسبب ارتفاع التيارات وضمانات الأداء ، محولات التيار المـــستمر المغذيـــة للجر عادة تتكامل مع المعدلات. ولذلك ، فهي مصممة خصيـــصا وتركـــب معـــا لتطابق التوصيل مع المعدل.

مقننات قدرة محولات التيار المستمر DC المغذية الجر أقل من 1000 كيلـــو فولت أمبير (مغذي الترام) ، وأقل من 2000 كيلو فولت أمبير (مغـــذي المتـــرو) و2000–8000 كيلو فولت أمبير (مغذي القطار مع تيارات عاليـــة تـــصل إلـــى 5000 أمبير). الجهد النمطي للتيار المستمر 3 كيلو فولـــت ، 1,5 كيلـــو فولـــت و0,75 كيلـــو فولـــت تيـــار مـــستمر ، وتيـــار مـــستمر 0,6 كيلـــو فولـــت. محولات التيار المستمر المغذية للجر مصممة بإحكام إلى جانب قنطرة دايود توالي أو توازي ، وأنها تزود بتوصيلات 6 ، 12 أو 24 نبضة.

المحولات المساعدة Auxiliary Transformers

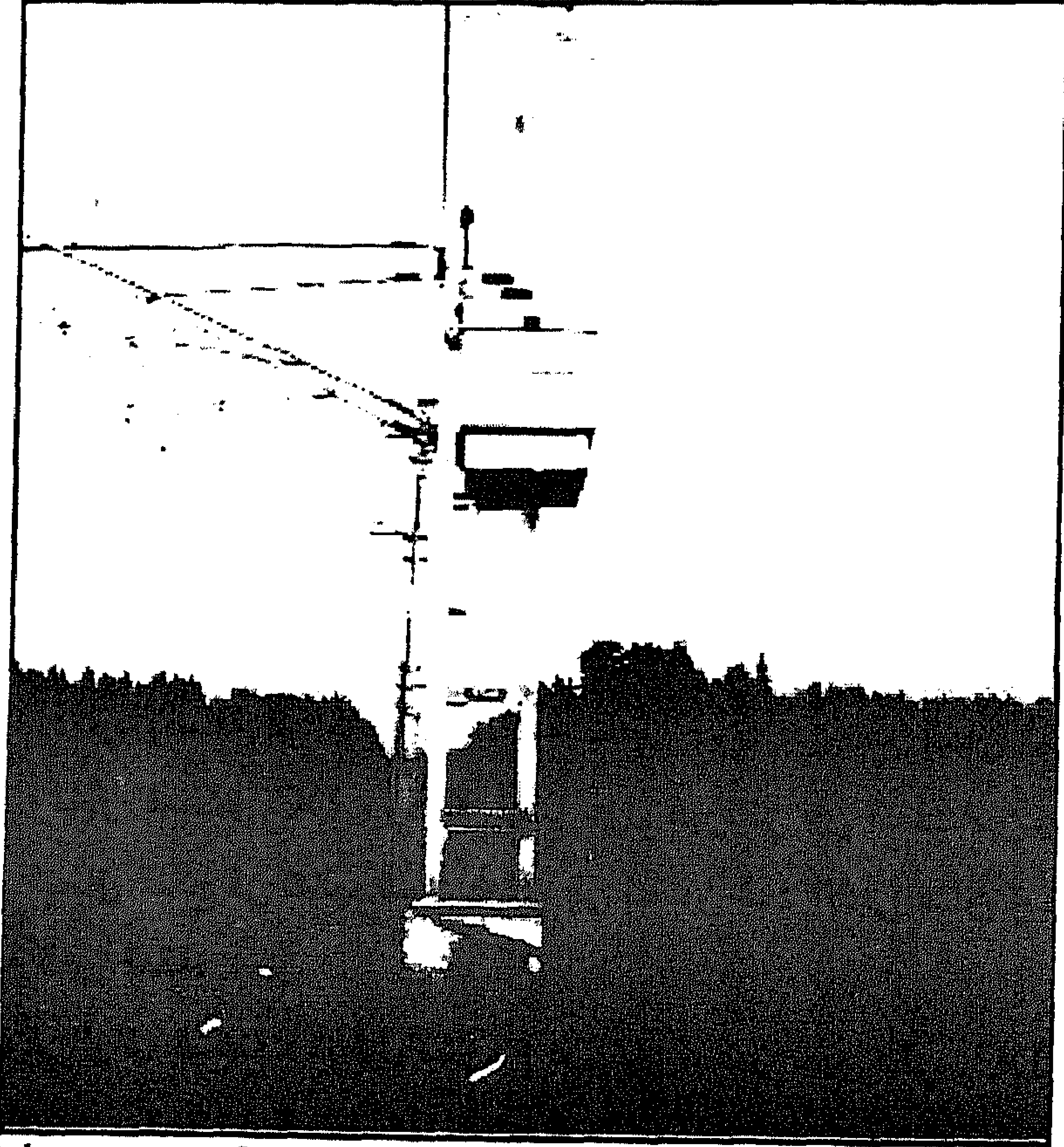
تطبيق

المحولات المساعدة تستخدم في شبكات ثلاثية الأوجه المساعدة على طول المسارات (المملوكة من قبل شركات السكك الحديدية) أو تغذي بالطاقة من الكاتينة للإضاءة أو لأغراض أخرى.

الوصف

المحولات المساعدة تستخدم على سبيل المثال لأغراض الإنارة والتدفئة وعربات القطار أو للإمداد بجهد أحادي الوجه المساعد لتغذية نظم الأمان أو تغذية المحطة الفرعية الخاصة.

وعادة ما تتبع مستويات الجهد نظم الكاتينة اقل من 36 كيلو فولت والقدرة المقننة أقل من 2 ميجا فولت أمبير النظم جانب المسار ثلاثية الأوجه .



A booster transformer in service at the railway network in Sweden.

شكل (12-12) مثال لمحول التقوية في شبكة السكك الحديد في السويد .

محولات العزل Isolation Transformers

محولات العزل هي محولات خاصة ، و هي تستخدم لعـــزل شـــبكة التيـــار المتردد AC من التيار المستمر المتسرب الناجم عن قضبان التيـــار المـــستمر التي تقع على مقربة من القضبان التيار المتردد.

عادة ما تكون هذه المحولات 25/25 أو 16/16 كيلو فولت محولات أحادية الوجه ، والقدرة المقننة تصل إلى 10 ميجا فولت أمبير.

ونظرا لمتطلبات تيار مستمر ، فان هناك حاجة الى تصميم الفجوة الهوائيـــة للقلب في محولات العزل. ولذلك ، يتطلب نظام اختبار قوي في المصنع. و دائما يتم عمل اختبار جهد الاندفاع الخاطفة كاختبار روتيني.

الجهود العالية Overvoltages أعلى من العادة ، بسبب الفجـــوة الهوائيـــة للقلب والتيار المستمر ، التي هي حاليا في القطع(الفصل والتوصيل) عندما يمـــر القطار بمقاطع المخرج Cut-off sections.

المحولات الخاصة بمغير القدرة الجهد العالي للتيار المستمر HVDC Converter

ويعتبر جزءا لا يتجزأ في نقل الطاقة على صورة تيار مستمر جهـــد عـــالي HVDC. وبالإضافة إلى المهمة الأساسية لتعديل الجهد بين نظم التيار المتـــردد AC/ والتيار المستمر DC ، وهناك أيضا عزل كهربائي بين النظـــامين. مـــدى واسع النطاق الناتج في تنظيم الجهد تؤدي إلى تحسين الحد الأدنى مـــن إمـــدادات الطاقة الغير فعالة.

وفي أوائل الستينات تم أول مشروع نقل تيار مستمر جهد عالي HVDC ثم بعد ذلك عدد كبير من المشروعات أكثر إلحاحا من أي وقت مضى فـــي جميـــع أنحاء العالم. وفي غضون ذلك كان هناك زيادة في جهد النقل بمقدار ستة أضعاف ما يصل إلى 600 كيلو فولت تيار مستمر، القدرة المنقولة تصل إلى عـــدة آلاف ميجاوات.

محولات مغير القدرة تعتبر من أثقل المعدات في محطة الجهد العالي HVDC . غالبا ما يكون وزن كل وحدة يمكن أن تصل إلى 200 -- 550 طن.

التيار المتردد ACعالية الجهد والتيار المستمر يضع متطلبات معينة على العزل. بالمنحنى التيارات غير الجيبية تؤدي إلى مفاقيد طاقة إضافية ينبغي النظر فيها. محولات المغير يربط شبكة تيار المتردد AC إلى قنطرة الثايرستور ، وضبط الجهد على ناحية الصمام إلى مستوى مناسب على أساس جهد التيار المستمر المستخدم لنقل الطاقة. يمكن ان يكون تصميم المحولات مختلف اعتمادا على القدرة اللازم نقلها ، و القيود الممكنة في عملية النقل. النوع الأكثر شيوعا هو تصميم أحادي الوجه ثلاثي الملف . ثم يلزم ثلاثة محولات متطابقة لكل مغير قدرة.

محول مغير القدرة يخدم عدة وظائف :

- يغذي الجهد في دائرتين منفصلتين مع حيود نسبي في الطور 30 درجة كهربائية لتقليل درجة التوافقيات ، وخاصة التوافقية الخامسة والسابعة.
- يمثل حاجز كهربائي galvanic barrier بين نظم التيار المتردد والمستمر AC ،DC لمنع جهد التيار المستمر لدخول نظام التيار المتردد.
- المعاوقة الكهربائية التفاعلية في شبكة التيار المتردد لخفض تيار القصر الكهربائي و التحكم في معدل ارتفاع تيار الصمام خلال توقف التيار.
- تحويل الجهد بين شبكة التيار المتردد و نظام HVDC .
- معدل كبير إلى حد ما من الخطوات مع مجموعة خطوات صغيرة لتقديم التعديلات اللازمة في الجهد.

تأثير عكس التقاطب على تصميم العازل في محول المغير في نظام HVDC

HVDC Converter Transformers Polarity Reversal Impact on Dielectric Design

الخــلاصة:

في شبكات النقل المعقدة، يجري استخدامها كيانات نظام الجهد العالي للتيار المستمر HVDC entities على نحو متزايد كوسيلة للتحكم في تدفق الطاقة. ويمكن عكس اتجاه تدفق القدرة من خلال عكس القطبية على اتصال الجهد العالي HVDC ،. في بعض نظم النقل HVDC يمكن تغيير الأقطاب (التقاطب) عدة مرات في اليوم. وهذا في المقابل إلى الاستخدام التقليدي للعديد من خطوط HVDC حيث لا يكون عكس الاستقطاب عادة إلا بضع مرات في السنة. عكس القطبية لكيانات الجهد العالي للتيار المستمر يضع إجهادات فريدة و حرجة على العزل في محولات مغير القدرة. حتى الآن ، يتم تصميم عازل HVDC باستخدام وسائل المجال الكهربائي الساكنة (مجال تيار مستمر استنادا إلى توصيليات المواد وعكس تقاطب المجال باعتبار تراكب التيار مستمر و التيار المتردد التقليدية).

غير أن بعض نظم العزل مصممة بالكامل وفقا لهذا النهج ومع ذلك تنهار خلال تجارب عكس التقاطب أو ما هو أسوأ ، خلال التشغيل. وهناك نهج محسن لتصميم نظم العزل على دراسات ميدانية ديناميكية كهربائية، التي تسمح بفهم أفضل لعكس اتجاه الاستقطاب العابر، أي تغيير للمجال الكهربائي مع الوقت.

و في نظام العزل محول HVDC ، يمكن مقارنة المعلومات التي يمكن الحصول عليها من قبل الطريقة الاستاتيكية والديناميكية. وبالإضافة إلى ذلك، تؤخذ الاعتبارات على لأداء اختبار عكس القطبية من خلال مقارنة إجهاد العازل خلال اختبار عكس القطبية وفقا لمعايير الاختبارات خلال التشغيل. وهناك بعض الاعتبارات يجب النظر فيها لخصائص المواد وتأثيرها الكهربائي على المجالات الكهربائية.

وفي هذه الفقرة سوف نجد مبادئ تصميم العزل للمحول HVDC. و كيفيــة استخدام محاكاة الحالة العابرة (متفاوتة الوقت) للمجال الكهربائي والتــي تــسمح

بفهم أفضل (بالمقارنة مع المجالات الساكنة) بما يجري داخل المحول خلال عمليات عكس التقاطب. وهنا أيضا نرى كيفية الضغط على العزل أثناء اختبار عكس التقاطب والتي صفها معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات C57.129 - 1999.

المعلومات المستخلصة من هذه الدورة ينبغي أن تساعد الحضور إلى ما يلي :

- ◊ تحسين العزل لمحولات HVDC .
- ◊ زيادة موثوقية محولات HVDC .
- ◊ إعادة النظر في كيفية القيام بتجارب واختبارات العزل DC and PR dielectric tests
- ◊ حل المشاكل المتعلقة بانهيار عزل المحولاتHVDC .

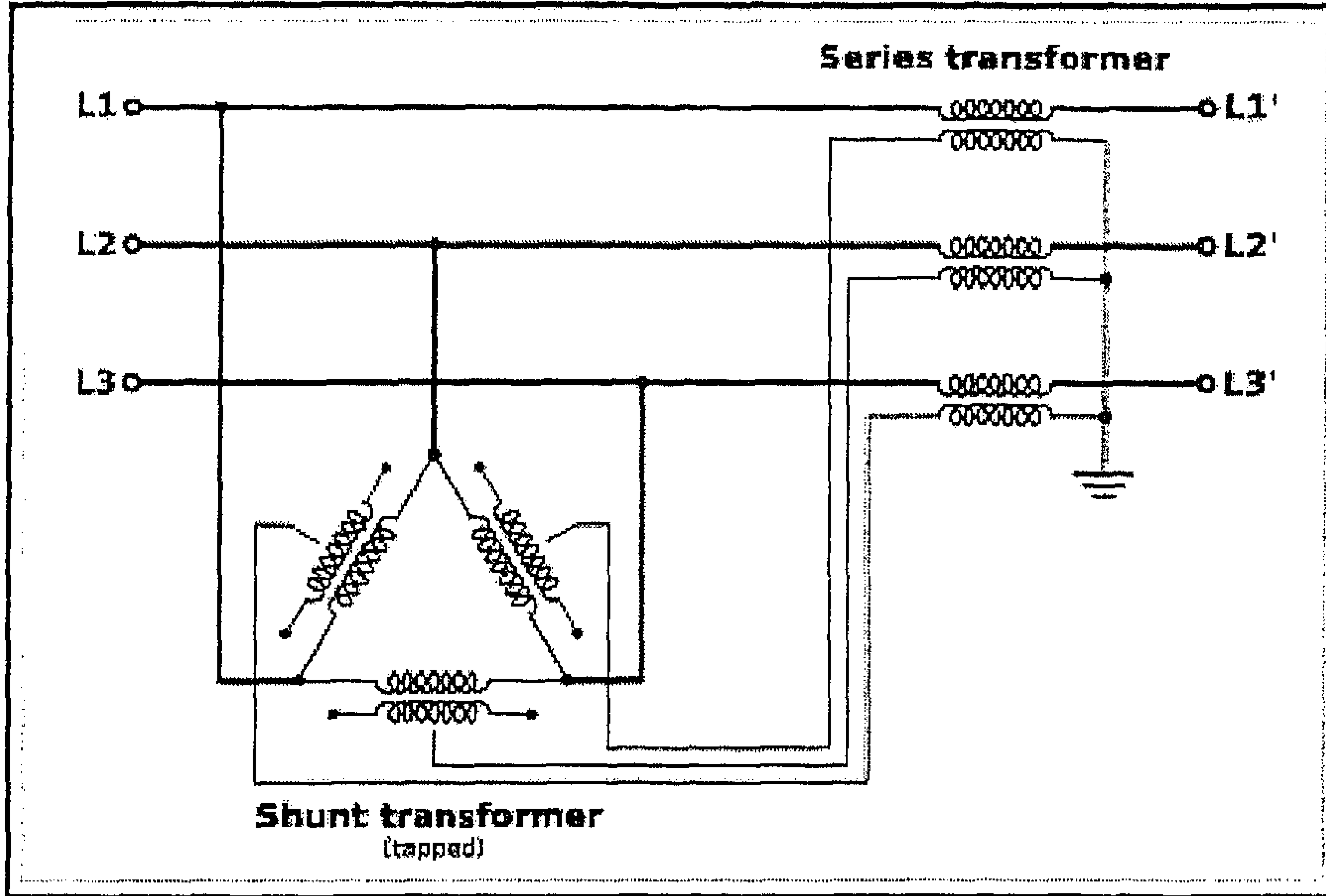
محول تحويل(تغيير) الزاوية

Quadrature booster ، phase-shifting transformer

محول تحويل(تغيير) الزاويةphase-shifting transformer ، المعروف أيضا باسم تعزيز التربيع Quadrature booster ، هو شكل من أشكال المحول المتخصصة المستخدمة للتحكم في سريان القدرة الفعالة في شبكات نقل الكهرباء ثلاثية الأوجه .

في خط نقل التيار المتردد، تدفق الطاقة من خلال الخط يتناسب مع جيب التمام لزاوية الوجه بين الجهد في الناحية المرسلة والناحية المستقبلة نهاية الخط. وحيث أن هناك دوائر مختلفة السعة موصلة على التوازي بين نقطتين في شبكة نقل الكهرباء (على سبيل المثال ، خط هوائي و كابل أرضي) ، والتحريك المباشر لزاوية الوجه يسمح بتقسيم القدرة بين مسارات التدفق ، ومنع زيادة الحمل. وبالتالي يوفر هذا المحول وسيلة لتخفيف زيادة الأحمال على الدوائر المحملة وتغيير مسارات القدرة عبر مسارات أكثر ملائمة.

إن تكلفة محول تغيير الزاوية عالية ومع ذلك ، فإن فائـــدة لانتقـــال نظـــام المشغلين في المرونة وسرعة التشغيل ، وخاصة تحقيق توفير في نظام النقل أكثر اقتصاد في توليد الكهرباء ، ويمكن في وقت قصير استرداد تكلفة المحول.



Simplified circuit diagram of a three-phase quadrature booster

شكل (12-13) رسم بياني مبـــسط لمحـــول تعزيـــز التربيـــع ثلاثـــي الأوجـــه

طريقة التشغيل

بواسطة الجهد المستمد من المصدر هو أن الوجه الأولى يتحـــول بزاويـــة 90 ° (ومن ثم تربيع) ، وبعد ذلك إعادة وضع الجهد على للشبكة ، وتنتج زاوية الوجه عبر محول تعزيز التربيع. و هذه الزاوية الناتجة تؤثر على تـــدفق الطاقـــة مـــن خلال دوائر محددة.

الترتيب

محول تعزيز التربيع quadrature booster عـادة تتـألف مـن محـولين منفصلين : وحدة على التوازي والأخرى على التوالي. الوحدة التـوازي تتـصل أطرافها بحيث تحول جهد خرج بمقدار زاوية 90 ° بالنسبة للمـصدر. وخـروج هذه الوحدة يوصل كدخل لوحدة التوالي، التي ، ولأن الملف الثانوي على التوالي مع الدائرة الرئيسية ، يضيف مركبة تحول الوجه(مركبة حيود الطور). ويكـون الجهد الناتج مجموع اتجاهي لجهد المصدر والمركبـة المتحولـة بمقـدار 90 ° (التربيـــــــــــــــــــــــــــــع).

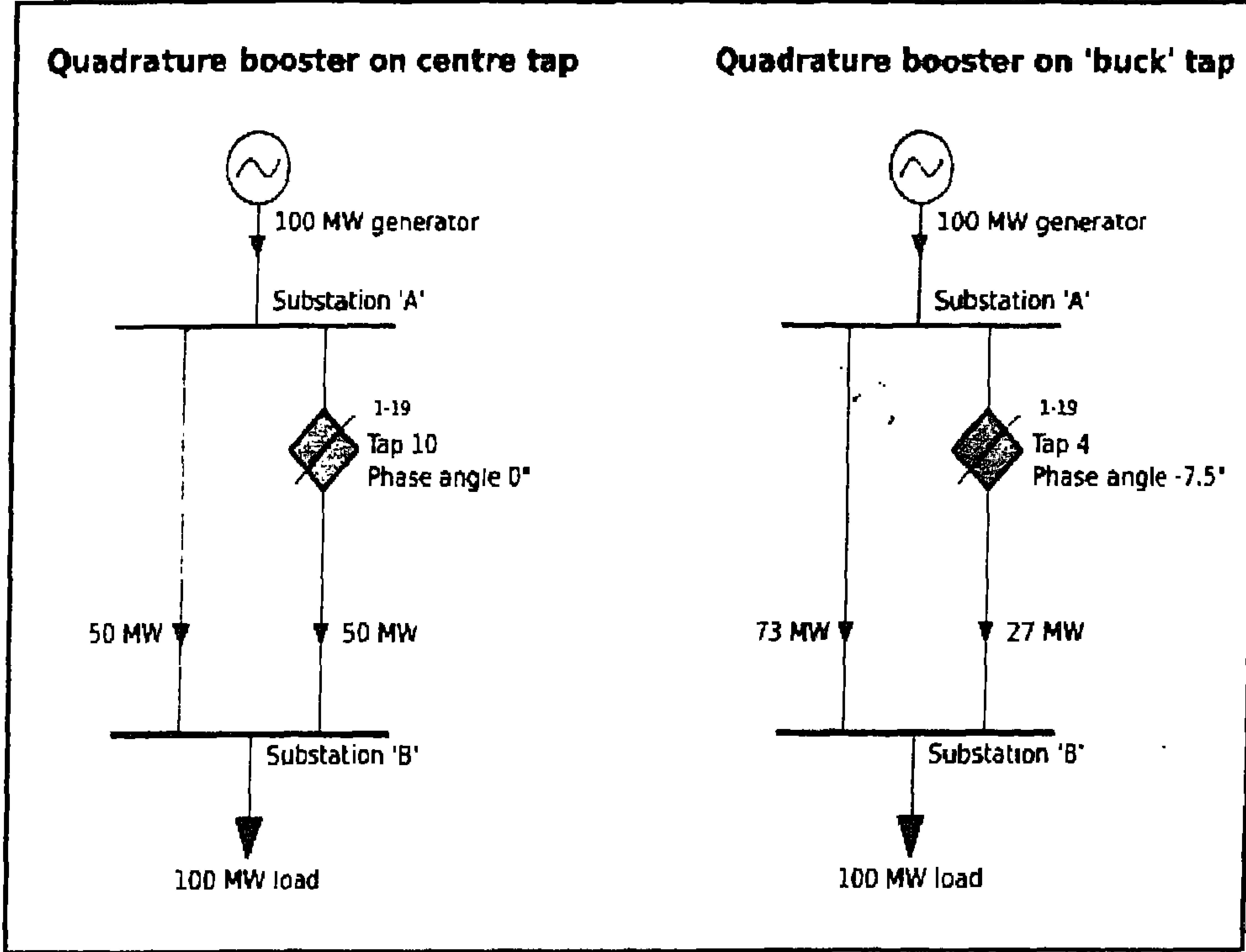
نقاط التوصيل على وحدة التوازي تسمح بالتحكم في مقـدار مركبـة التربيـع ، وبالتالي مقدار تحول الوجه عبر محول تعزيز التربيع. التدفق على الدائرة التـي تحتوي على تعزيز التربيع يمكن أن يزداد *boost tapping* أو يـنخفض (*buck tapping*).

توضيح لتأثير تغيير الخطوة على محول التقوية

الرسم البياني الخطي أدناه يظهر أثر خطوات تعزيز تربيع على نظام مولد- حمل قدرة 100 ميجا وات مع اثنين من خطوط النقـل متـصلين بـالتوازي ، بالإضافة إلي محول تقوية (تعزيز) التربيع (المظللة الرمادية) مع خطوات من 1 إلى 19.

في الصورة من جهة اليسار ، محول التقوية التعزيز التربيع في وضع مركز الخطوات 10 و زاوية وجه 0 °. وبالتالي لا يؤثر على تدفق الطاقة خلال الدائرة ويتم تحميل الخطوط بالتساوي كل منها بمقدار 50 ميجا وات. الصورة من جهـة اليمين تظهر نفس الشبكة مع محول التقوية (تعزيز التربيع) ، والتي يـتم تقليـل الخطوة لخفض تدفق الطاقة. زاوية الوجه السلبية الناتجة تنقل 23 ميجا وات من تحميل الدائرة الموازية، في حين يبلغ إجمالي الحمل دون تغيير عند 100 ميجـا

وات. (لاحظ أن القيم المستخدمة هنا هي افتراضية ؛ زاوية الوجه الفعليـــة فـــي التحميل تتوقف على بارامترات محول تقوية التربيع وخطوط النقل.)



Effect of tapping a quadrature booster

شكل (12-14) أثر تغيير الخطوة على محول التعزيز و التربيع

بعض الاختصارات التي وردت بالكتاب
List of Symbols and Abbreviations

AC alternating current, an electrical transmission system where the voltage and the associated current alternatively adopt a positive and negative polarity, typically at 50 cycles per sec.

ANSI المؤسسة الأمريكية الوطنية للمقاييس AMERICAN NATIONAL STANDARD

IEEE ومعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات

BS British standards of the British Standards Institution (BSI), the main standards organization in the United Kingdom

IEE Institute of Electrical Engineers, a professional institute for electrical engineers in UK

IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers, a professional institute for electronic and electrical engineers in USA

IGBT integrated gate bipolar transistor, a voltage controlled electronic switching device, similar to a MOSFET

IEC International Electrotechnical Commission, an international standards organization, which specializes in electrical standards

ISO International Standards Organization, an organization that coordinates standards internationally

CSI current source inverter, a configuration of frequency converter where rate of change of current (di/dt), behind the inverter, is limited by a large choke connected in series in the DC link

---

Darlington connection a 'cascade' connection of transistors which increases the amplification factor of a power transistor module, in order to reduce the base current required from the control circuit – double or triple

Darlington connections are commonly used in power converters

Capacitance the property of an AC electrical circuit to store electrical energy when a voltage is applied –it is normally associated with two plates, where the capacitance is proportional to the area of the plates and inversely proportional to the distance between them – when an alternating voltage is applied, the resulting current will be such that the current peak will lead the voltage peak by 90o – units of capacitance are measured in Farads

DC direct current, an electrical transmission system where voltage and current retain a fixed polarity (positive or negative)

DCS distributed control system, an industrial control computer usually used for process control applications

DGA Dis-Solved gas analysis

EMF Electromotive force

HFT high frequency transformer

Impedance a combination of resistance R and reactance X, measured in ohms, that provides an opposition to the flow of current in an electrical circuit – units are measured in ohms

Inductance the property of an electrical circuit that opposes a current flow, causing the current peak to lag behind the voltage peak by 90o – units are measured in henrys

Interface a common electrical boundary between two separate devices, over which data or other electrical signals can pass between them

I/O inputs and outputs, the connections into and out of a control device such as a PLC, DCS, RTU, etc

ISA Instrument Society of America

k kilo. metric system prefix, 103

kVA kilovolt-amperes, measurement of, volt × amp × 103

kW kilowatt, measurement of, watt × 103

m meter, the unit of length in the metric system

M mega, metric system prefix, × 106

mho unit of measurement of conductance in the metric system

min minute, measurement of time = 60 sec

MODEM MOdulator-DEModulator, a device that converts digital voltage data to frequencies suitable for transmission over an analog communications system, such as a telephone or radio channel

MMF Magnetomotive force

MOS metal oxide semiconductor, a semiconductor device, using a specific type of construction

MOSFET metal oxide semiconductor field effect transistor, an FET using the MOS construction – it is a voltage controlled electronic switching device

MOV metal oxide varistor, a non-linear semiconductor device used for overvoltage

Ohm unit of measurement of resistance & impedance in metric system

PWM pulse width modulation, a modulation technique used in the Inverter of many modern AC variable speed drives to control the amplitude of the output AC voltage and to improve the shape of the current waveform

Reactance the opposition to the flow of current when an alternating voltage is applied to an electrical circuit, due to the inductance of the circuit (Xr =
jωL ohms) or the capacitance of the circuit (Xc = 1/jωC ohms)

Resistance the opposition to the flow of current when a voltage is applied to an electrical circuit, measured in ohms – resistance = voltage/current

RMS Root mean Square

VSD variable speed drive, controls the speed of a motor, or the mechanical device coupled to it, either mechanically or via an electronic control circuit

VSI voltage source inverter, a configuration of frequency converter where rate of change of voltage (dv/dt) behind the inverter is limited by a large capacitor connected in parallel across the DC link

OLTC On Load Tap Changer

OCTC Off-Circuit Tap Changer

NLTC No Load Tap Changer

VSD Variable Speed Drive

PU per Unit

WT Wind Turbine

HVDC transmission

PLL rated pu total load loss

P_{EC-R} rated (PU) winding eddy current loss

HLF Harmonic load factor

HL harmonic load

OL sinusoidal waveform load

CTC Continuously Transposed Cable

FEM Finite Element Method

HV High voltage

IEC The International Electrotechnical Commission

IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers

LV Low voltage

Rms Root mean square

THD Total Harmonic Distortion

YNd11 Transformer connection type

2-D Two dimensional

3-D Three dimensional

MVA Mega volt Ampere

RGO Regular Grain Oriented type materials

REF Restricted Earth Fault Protection

RTD resistance temperature detector

CT Current Transformer

VT Voltage transformer

R Rated

i Initial

u Ultimate

H Hot spot location

pu Per unit value

CTC Continuously Transposed Cable

FEM Finite Element Method

HV High voltage

IEC The International Electrotechnical Commission

IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers

LV Low voltage

rms Root mean square

THD Total Harmonic Distortion

YNd11 Transformer connection type

2-D Two dimensional

3-D Three dimensional

Symbols

A Magnetic vector potential

B Magnetic flux density

c Empirical value typically taken equal to one

$C_{th\text{-}Oil}$ Top oil model thermal capacitance

$C_{th\text{-}H}$ Winding thermal capacitance at hot spot location

Cp Specific heat of a material

D Electric flux density

d Conductor diameter in the direction of B.

E Electric field strength

f Rated frequency

F_{AA} Accelerated ageing factor

F_{WE} Winding eddy current loss factor

$F_{WE\,x}$ Winding eddy current loss factor for axial winding eddy loss component

$F_{WE\,r}$ Winding eddy current loss factor for radial winding eddy loss component

F_{OSL} Other stray loss factor

g Average winding to average oil temperature rise at rated load.

H Hot spot factor due to the increased eddy losses at the winding end.

H Magnetic field strength.

h Harmonic order

I_R Rms current at harmonic order h,

I Rms fundamental current under rated frequency and load conditions

I pu Normalised current

JS Source current density

K Load factor (supplied load/rated load)

ترجمة لبعض الكلمات والمصطلحات التي وردت بالكتاب

Accuracy class	تصنيف الدقة
Ampere's Law	قانون أمبير
Anti-remanence current transformers	محول تيار
ANSI	المؤسسة الأمريكية الوطنية للمقاييس
Alloys	سبائك
Aluminium electrolysis	الكتروليت الألومنيوم
Arc furnaces	فرن القوس الكهربي
Autotransformer	المحول الذاتي
Burden	العبء
Booster transformers	محول تقوية
Bushings	عازل اختراق
Classification	تصنيف
Construction	تركيب
Core	القلب المغناطيسي
Coolant	المبردة
Copper loss	مفاقيد القدرة في النحاس
Core Laminated Steel	الصلب المعزول في قلب المحول
Converter transformer	محول مغير القدرة
Cooled heat exchangers	مبادلات حرارة مبردة
Cobalt-nickel-iron	
Cobalt-iron	حديد - كوبلت
Coolers	المبردات
Copper refining	تكرير النحاس
Current error	الخطأ في التيار
Current transformer	محول تيار
CT Saturation	تشبع محول التيار
Distort	يشوش - يحرف

Demagnetization	ازالة المغنطة
Diamagnetic materials	المواد الثنائية المغناطيسية
Derating	مقنن المحول
Differential Protection	الوقاية التفاضلية
Detailed operation	التشغيل التفصيلي
Earth Fault protection	الوقاية من التسرب الأرضي
Economical dispatch of generation	التشغيل الاقتصادي لتوليد الطاقة
Electromagnetism	الكهرومغنطة
Electromagnetic induction	الحث الكهرومغناطيسي
Electromotive force EMF	القوة الدافعة الكهربية
Electric arc welders	لحام القوس الكهربي
Electric arcs	القوس الكهربي
Exhibit negative resistance	
Electric current	التيار الكهربائي
Energy losses	مفاقيد الطاقة
Equivalent circuit	الدائرة المكافئة
Earthing transformer	محول تأريض
Eddy current losses	مفاقيد التيار الدوامي
Electromagnetic	كهرومغناطيسي
Excited	مثار
Eddy currents	التيار الدوامي
Energization	الإثارة
E-shaped	على شكل حرف E
Electromagnetic interference	التداخل الكهرومغناطيسي
Electrical Traction	الجر الكهربائي
Flux	الفيض المغناطيسي
Flux leakage	تسرب الفيض

Ferromagnetic materials	المواد الفرومغناطيسية
Furnace Transformer	محول الفرن الكهربائي
Finite	محدود
Faraday's law	قانون فاراداي
Faraday's induction law	قانون فاراداي للحث
Ferromagnetic	فرومغناطيسية
Ferrochromium	فروكروم
Ferromanganese	فرومنجنيز
Fundamental	اساسي
Flux density	كثافة الفيض
Graphitizing	
Ground fault protection	الوقاية من الخطأ الأرضي
Hysteresis	
Hesteresis losses	
Harmonics	التوافقيات
HVDC transmission	نقل الطاقة على جهد عالي للتيار المستمر
IEC International Electrotechnical Commission	اللجنة الدولية الالكتروتقنية
Induction law	قانون الحث
Ideal power equation	معادلة القدرة المثالية
Ideal Transformer	المحول المثالي
Iron loss	المفاقيد في الحديد
IEEE	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات
Instrument transformers	
I-shaped	على شكل حرف I
Inrush current	تيار الاندفاع
Inferior voltage regulation	تنظيم الجهد التابع
Insulation	العازل

Kirchoff's laws	قانون كيرشوف
Leakage inductance	محاثة التسربِ الكهربائية
Leakage transformers	محولات تسربِ
Lenz's Law	قانون لنز
Linear current transformers	محزل تيار خطي
Litz wire	سلك اللتز
Load factor	معامل الحمل الكهربائي
Load Tap Changer	مغير الخطوة على الحمل
Low-carbon steel	الصلب قليل الكربون
Laminating the core	ترقيق القلب المغناطيسي
Liquid level indicator	مبين مستوى السائل
Liquid temperature indicator	مبين حرارة السائل
Magnetic field	المجال المغناطيسي
Magnetic permeability	النفاذية المغناطيسية
Magnetomotive Force MMF	القوة الدافعة المغناطسية
Magnetic saturation	التشبع المغناطيسي
Magnetic flux density	كثافة الفيض المغناطيسي
Magnetic Leakage and Fringing	التسرب المغناطيسي والتهدب
Measuring current transformer	محول تيار للقياس
Magnetic permeance	النفاذ المغناطيسي
Magnetizing current	تيار المغنطة
Magnetic materials	المواد المغناطيسية
Magnetizing Inductance	محاثة المغنطة
Magnetizing Resistance	مقاومة المغنطة
Mechanical losses	المفاقيد الميكانيكية
Magnetostriction	
Magnetic Fields	المجال المغناطيسي
Maxwells (gauss times square centimeters	الماكسويل (جاوس / سم مربع)

Nameplate	لوحة البيانات المعدنية
Nickel-iron	نيكل - حديد
No-load losses	المفاقيد عند اللاحمل
Negative sequence	التسلسل السالب
Neutral point	نقطة التعادل
Nonlinear devices	الادوات الغير خطية
Nonsinusoidal	الغير جيبي
Numerical relays	المرحلات الرقمية
Oxygen-free copper	النحاس الخالي من الأكسجين
Oil-impregnated paper	الورق المشبع بالزيت
Overheating	التسخين الزائد
Overvoltage	زيادة الجهد
Phasor diagrams	الرسم المتجهي
Phase displacement	الإزاحة في الطور
Protective current transformer	محول التيار المستخدم في الوقاية
Paramagnetic materials	المواد المغناطيسية
Proximity effect	تأثير القرب
Positive sequence	التسلسل الموجب
Permeability	نفاذية
Phase shifts	حيود الطور
Polyphase transformers	محولات متعددة الأوجه
Practical considerations	الاعتبارات العملية
primary current	التيار في الملف الابتدائي
Reactance	معاوقة حثية
Recovery inrush	تيار الاندفاع الانتعاشي
Resonant circuits	دوائر الرنين
Relays	المرحلات (أجهزة الوقاية)
Resistive heating	التسخين باستخدام مقاومة
Resonant transformers	محول الرنين
Reluctance	المعاوقة

Remanence	
Railway electrification	كهربة السكك الحديدية
Restricted Earth Fault Protection	حماية الخطأ الأرضي المقيّدة
Residual current	التيار الزائد
Short-circuit	قصر في الدائرة
Sinusoidal	على شكل دالة جيب الزاوية
Skin effect	التاثير الجلدي
Superconducting	
Self-inductances	المحاثة الذاتية
Saturable devices	الادوات المتشبعة
Stray loss	المفاقيد العابرة (الضالة)
Saturation	تشبع
Substation	محطة فرعية
Silicon steel	الفولاذ السيليكوني
Secondary current	التيار في الملف الثانوي
Secondary winding	الملف الثانوي
sympathetic inrush	تيار الاندفاع التعاطفي
Toroidal cores	قلب مغناطيسي دائري
Thermal management	معاملة حرارية
Transductors	
Tank	خزان
Thermal and dynamic currents	التيار الحراري والديناميكي
Transient	الحالة العابرة
Wind Turbine	توربينة الرياح
Windings	الملفات
winding resistance	مقاومة الملفات
Variac variable transformer	المحول المتغير
Zigzag transformer	محول ذو توصيل ملفات متعرج
Zero Sequence current	تيار التسلسل الصفري

Table for standard Quantities and units
جدول الكميات والوحدات القياسية

Symbol	Quantity	Unit	Unit Symbol
A	Geometric area	Square meter	m^2
B	Magnetic flux density	tesla	T
C	Capacitance	farad	F
E	Electric field strength	Volt per meter	V/m
F	Mechanical force	Newton	N
Fm	Magnetomotive force (mmf)	Ampere turn	A or A.t
G	Conductance	Siemens	S
H	Magnetic field strength	Ampere per meter	A/m
I	Electric current	Ampere	A
J	Electric current density	Ampere per square meter	A/m^2
J	Moment of inertia	Kilogram metre squared	$Kg.\ m^2$
L	Self inductance	henry	H
M	Mutual inductance	henry	H
N	Number of turns		
P	Active or real power	Watt	W
Q	Electric charge	coulomb	C
Q	Reactive power	Volt ampere reactive	VAR
R	Electrical resistance	Ohm	Ω
Rm	reluctance	Ampere per weber	A/Wb
S	Apparent power	Volt ampere	V.A
T	Mechanical torque	Newton meter	N.m
V	Electric potential or voltage	volt	V
W	Energy or Work	joule	J
X	reactance	Ohm	Ω
Y	Admittance	siemens	S
Z	Impedance	Ohm	Ω
f	frequency	hertz	Hz
j	Square root of -1		
l	length	meter	m
m	mass	kilogram	kg
n	Rotational speed	Revolution per	rpm

Symbol	Quantity	Unit	Unit Symbol
		minute	
p	Number of machine pole pairs		
t	time	second	s
v	Linear velocity	Meter per second	m/s
ε	permitivity	Farad per meter	F/m
η	efficiency		
θ	angle	Radian or degree	Rad or °
λ	Power factor		
ʌ	permeance		
μ	Permeability	Weber per ampere	Wb/A
ρ	Resistivity	Ohm meter	Ω.m
σ	conductivity	Siemens per metre	S/m
φ	Phase angle	radians	rad
Φ	Magnetic flux	weber	Wb
ψ	Magnetic flux linkage	Weber or weber-turn	Wb
ω	Angular velocity or angular frequency	Radian per second	rad/sec

الفهرس و المحتويات

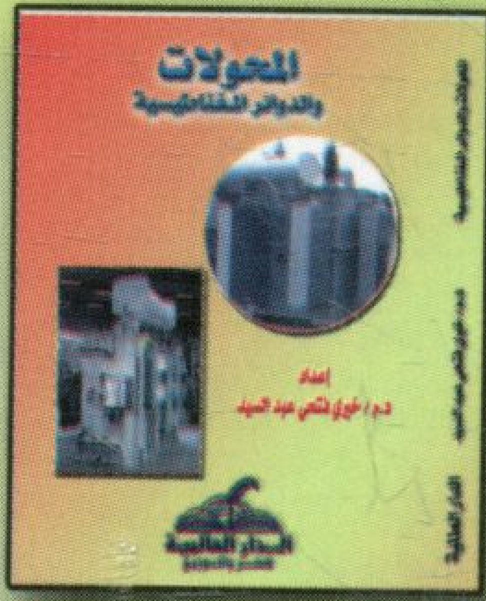
الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

قائمة الأشكال	



هذا الكتاب

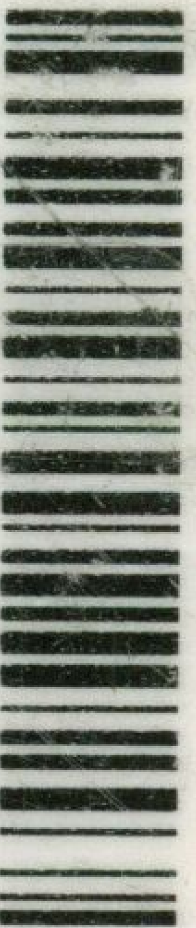
تعد المحولات من أكثر الآلات الكهربائية كفاءة . وتتنوع أحجام المحولات من صورة مصغره الحجم داخل مرحلة الميكروفون إلى وحدات ضخمة تزن مئات الأطنان والمستخدمة في ربط أجزاء من شبكات الكهرباء ، تعمل جميعها بنفس المبادئ ونظرية العمل على الرغم من تنوع النماذج والتصميمات الموجودة لأداء دورها المتخصص في تطبيقات المنزل والصناعة.

يتناول الكتاب المحولات الكهربائية بوصفها آلة مهمة للغاية ولها الكثير من التطبيقات العملية ، وروعي في هذا الكتاب التركيز علي الجانب العملي ويتناول المحولات الكهربائية بأنواعها واستخداماتها وطرق الاختبارات والصيانة لها.

هذا الكتاب عمل مرجعي يشمل تصميم وبناء وتركيب وتشخيص الأعطال وصيانة محولات الكهرباء ، في توليد ونقل وتوزيع الكهرباء والمحطات الفرعية ، والتطبيقات الصناعية.

إن النطاق الواسع لكتاب المحولات والتركيز العملي يجعله مثالي للقراءة للمهندسين والعاملين بالتصميم ، وطلاب الهندسة الكهربائية ، وجمهور أوسع في هندسة الطاقة والمحولات وقطاعات تصنيع المحولات. بيد أنه ليس من نص يقرأ لمرة واحدة ويوضع على الرف ، بل يعتبر مرجع للمخضرم مهنيا فضلا عن المبتدئ.

هذا الكتاب مرجع لجميع المشاركين في تصميم وتركيب ومراقبة والحفاظ على الجهد العالي باستخدام نظم محولات الكهرباء (توليد الطاقة الكهربائية وقطاع التوزيع ؛ على نطاق واسع من التطبيقات الصناعية)



الناشر

١١١ ش الملك فيصل/ برج مصر الخليج ناصية ش المستشفى
ت: ٣٧٤٤٦٤٣٨ - ٣٧٤٤٦٣٢٤ ف: ٣٧٧١٩٨٩٩
e-mail: daralamiya@hotmail.com